



Escola de Camins

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

**Estudio de una alternativa a la
sustentación del camino romano
hallado en las obras de Reforma
del Mercat de Sant Antoni.**

Trabajo realizado por:

Alex Muchinik Falkon

Dirigido por:

Sergio H. Píalarissi Cavalaro

Grado en:

Ingeniería Civil

Barcelona, **Septiembre 2016**

Departamento de Ingeniería de la Construcción

TRABAJO FINAL DE GRADO

MEMORIA

ÍNDICE

	<i>Págs.</i>
1 RESUMEN	2
2 ABSTRACT	5
3 ANTECEDENTES Y OBJETO DE ESTUDIO	7
3.1 Antecedentes	
3.2 Objeto de Estudio	
4 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUIDA	16
5 ALTERNATIVA PROPUESTA	28
6 JUSTIFICACIÓN ALTERNATIVA PROPUESTA	33
6.1 Procedimiento Constructivo	
6.2 Plazo de Ejecución	
6.3 Coste	
7 CONCLUSIONES.....	39
8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
9 AGRADECIMIENTOS.....	47

1 RESUMEN

El Mercat de Sant Antoni es un mercado histórico de Barcelona situado en el barrio de Sant Antoni entre las calles Compte Borrel, Manso, Tamarit y Compte Urgell (figura 1). Los trabajos de reforma, rehabilitación y modernización integral comenzaron en enero de 2009 dirigidos por el “Institut Municipal de Mercats de Barcelona” (IMMB) y proyectados por el Taller Ravetllat-Riba. La remodelación, dotará al mercado de nuevas instalaciones logísticas, nuevos servicios, y una configuración comercial nueva, que ampliará la actual.

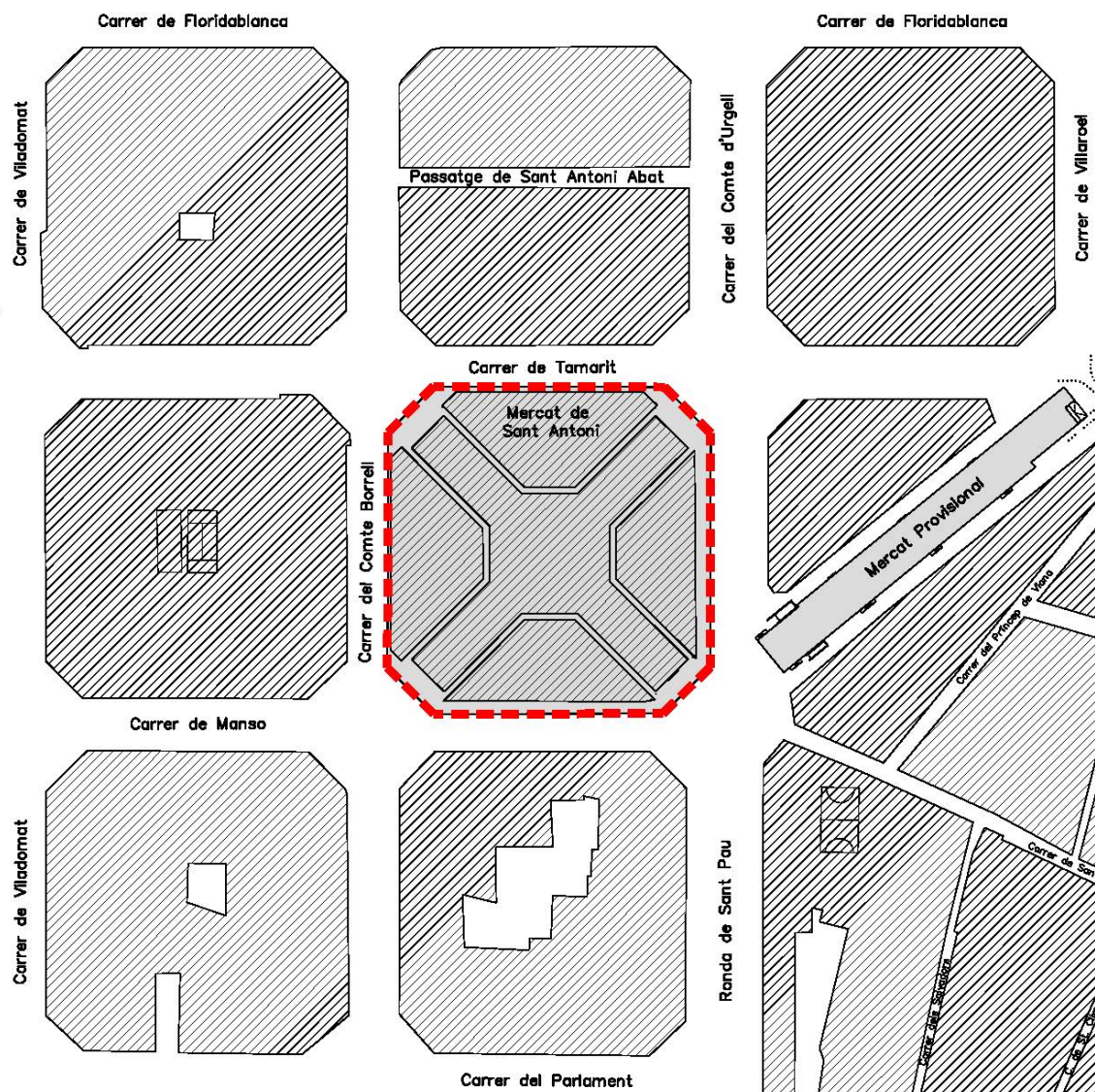


Figura 1 Localización del Mercado de Sant Antoni

Las principales ideas plasmadas en el proyecto constructivo original eran: la rehabilitación integral del edificio existente con su carácter monumental e histórico, mantener las ocho entradas existentes pero convirtiendo los cuatro patios interiores originales en plazas de uso público y la excavación de 4 niveles de sótanos al nuevo equipamiento modernizado: la primera planta dotada comercialmente (supermercado), y las 3 plantas inferiores de parking incluyendo servicios. Además, en dicho proyecto se sabía de la existencia de algunos restos arqueológicos como la muralla y la contramuralla medieval de Barcelona situada bajo el mercado, por lo que el proyecto estaba pensado para integrarlos y ofrecerlos a la ciudad para uso y disfrute público.



Figura 2 Mercado de Sant Antoni antes de la remodelación

Esta modernización amplificará la potencia e impacto comercial del mercado, los beneficios y las interacciones con su eje comercial, el barrio y la ciudad. Concretamente, se pasará de 12.100m² a 30.000m² de superficie edificada, y de 5.214 m² a 15.000 m² de superficie comercial, dimensiones ampliamente superiores a las originales (figura 2).

En resumen, el proyecto de remodelación y modernización del Mercat de Sant Antoni, pretende potenciar las peculiares características de la estructura metálica del edificio existente, reordenando su distribución y, dotándolo de nuevos servicios para comerciantes y clientes a la altura de los estándares del siglo XXI.

Durante la ejecución de una de las fases de la obra (fase 2), se encontraron restos arqueológicos que no estaban previstos en el proyecto inicial. Por esta razón, se solicitó al despacho de ingeniería ESTEYCO (proyectista y durante la obra, consultor estructural externo de la dirección facultativa) el planteamiento de soluciones técnicas alternativas, a fin de alterar

lo menos posible la solución original del proyecto ganador de la licitación. Los mencionados restos arqueológicos son una contramuralla medieval y un camino romano.

El presente trabajo de final de grado se plantea como el estudio de una solución constructiva alternativa a la propuesta ejecutada a partir del hallazgo de restos arqueológicos durante la reforma del Mercat de Sant Antoni y un análisis comparativo entre la alternativa propuesta y la ejecutada por la UTE. Cabe destacar que la alternativa constructiva que se propone se ciñe exclusivamente al camino romano.

El dimensionamiento se llevó a cabo siguiendo la normativa actual española, la Instrucción de Acero Estructural (EAE) para estructuras de acero y la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08) para estructuras de hormigón.

Los estudios previos sobre la topografía, geología y geotecnia de la zona de la reforma, un pre-dimensionamiento para el cálculo estructural y su procedimiento constructivo mediante planos se detallan en los anejos correspondientes. Además de los documentos mencionados, el estudio se complementa con un presupuesto y sus respectivas mediciones, y con un plan de trabajo.

He tenido la oportunidad y el privilegio de trabajar en la obra de la reforma del mercado como becario en prácticas durante todo el verano 2015. Por esa razón, he contado con la autorización para acceder a la documentación que ha constituido la base para el desarrollo del presente trabajo de fin de grado.

2 ABSTRACT

The Sant Antoni Market is a urban historic fresh food market, located at the Sant Antoni quarter in Barcelona, between the following streets: Compte Borrel, Manso , Tamarit and Compte Urgell (figure 1). The construction works to reform, rehabilitate and integrally modernize the market began in January 2009, directed by The “Institut Municipal de Mercats de Barcelona” (IMMB) and designed by Taller Ravetllat-Riba. The remodeling will provide the market with new installations, services and logistics and a new configuration of the commercial area, which will enlarge the presently available.

The main ideas expressed by the original construction design were the following: to perform a complete rehabilitation of the existing building while maintaining its historic and monumental character, by keeping the eight original entrances and transforming the four existing courtyards into public squares, as well as to dig out four basement levels at the modernized commercial equipment: the first level will put up a supermarket, and the three lowest will be dedicated to parking lot and services. The project further considered the construction solutions which might allow integrating some already detected archeologic rests: the middle-age city wall (located right down the market) so as it might be offered to the city for public visit.

This reform and modernization will increase the commercial potential of the market and will add the benefits of integrating it to the whole commercial axis, to the quarter and to the whole town. The magnitude of the built area will increase from the original 12.100m² to 30.000m² and the commercial area will increase from 5.214 m² to 15.000 m².

In summary, el The Project of reform and modernization of the Sant Antoni Market is intended to potentiate the peculiar characteristics of the metal structure of the original building, allowing a new organization and distribution as well as providing to shopkeepers and customers new and modern services, according to the XXI century standards.

During the execution of one the construction phases (phase 2), new unexpected archeological rests were found, not included in the original project.. For this reason, alternative technical solutions were asked to Ingeniería ESTEYCO (designer and during the construction, external structural consultant of the Project Management), to modify as less as possible, the original

solution provided by the project who won the tender. This new archeological findings correspond to the complete middle-age defensive counter wall and a roman road.

The present work corresponds to the study of a novel construction solution for the unexpected archeological rests found during the works to reform the Sant Antoni Market, as an alternative to the executed proposal a comparative analysis of this novel alternative to the executed by the UTE. It should be considered that the construction solution that is proposed is exclusively focused on the roman road.

The sizing was carried out according to the presently in-force spanish regulation, the Instrucción de Acero Estructural (EAE) for Steel structures and the Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08) for concrete structures.

The previous topographic, geologic and geotechnics studies of the area to be reformed, a pre-sizing for the structural calculation and the construction procedure through drawings are included in the corresponding annexes to the present document. Apart from the mentioned documents, the study is further complemented by a budget and their respective measurements, and a planning.

I had the opportunity and privilege to work at the construction site and reform of the Sant Antoni market as a grant student in practice, during the summer of 2015. For this reason, I received the authorization to get access to the documents which are the basis for the development of the present final degree project.

3 ANTECEDENTES Y OBJETO DE ESTUDIO

3.1 Antecedentes

El 31 de mayo de 2012 se presentó el proyecto ejecutivo de reforma del Mercat de Sant Antoni en Hábitat Urbano del Ayuntamiento de Barcelona, que definía todos los trabajos necesarios para la finalización completa de las obras.

El sistema constructivo propuesto y que se pretendía emplear desde el inicio, era un método muy efectivo y rápido en su ejecución al ser descendente-ascendente. Una vez hecha la losa superior de la PB (losa de la cubierta, cota de la calle aproximadamente) y las pantallas perimetrales, se procedería con las excavaciones por debajo de la losa mencionada. Al llegar a la cota de la planta -2, se ejecutaría el forjado correspondiente de una manera parcial, dejando un hueco en medio, como si fuera una “rosquilla” para arriostrar y rigidizar. Se procedería luego a excavar hasta la cota de la planta -4; y una vez finalizada la excavación, empezaría el proceso de ejecución inverso de cada planta, de abajo a arriba hasta llegar a la planta -1.

Durante la ejecución del proyecto en obra, concretamente durante la excavación bajo la losa de la cubierta, se encontraron los restos arqueológicos previstos en el proyecto original (muralla medieval y una contramuralla medieval o contraescarpa), pero en un estado mucho más completo de lo esperado y, además, se halló algún otro no previsto: un camino romano o vía romana; el cual será objeto del presente estudio de alternativa constructiva.

Dados estos hallazgos, fue necesario detener temporalmente la parte de la obra que se estaba ejecutando junto a estos restos, mientras los arqueólogos desarrollaban su labor. Durante este tiempo se revis  el proyecto original: la estructura prevista, los cálculos realizados y la solución urbanística y arquitectónica originalmente pensada para ser ofrecida a la ciudad. Asimismo, en colaboración con Sacyr, se solicitó al despacho de ingeniería Esteyco S.A.P. que para entonces estaba dando soporte a la dirección de obra como parte de la dirección facultativa, que elaborara propuestas alternativas al proyecto original, como solución al hallazgo de los nuevos restos arqueológicos y, fundamentalmente, que analizara si el proyecto original podría integrarlos o requería ser modificado a fin de darles cabida.

La vía romana encontrada tal y como se muestra en la figura 3, es un empedrado de bloques de piedra caliza de la época del Imperio Romano, concretamente 3 niveles de pavimentación (enunciados de más superficial a menos): “*pavimentum*”, “*nucleus*” y “*rudus*” o “*la ruderati *”.

El pavimento o “*pavimentum*”; está construido con piedras de formas bastante irregulares, desbastadas, enclavadas y orientadas, en general, perpendicularmente a los bordes y paralelas entre sí, y se encuentra delimitado por un muro en su margen norte y, por una zanja paralela a la traza de la vía en el margen sur, la que se interpreta como una cuneta para recoger el agua de la lluvia. En algunos tramos se pueden observar escalonamientos de 10 a 15 cm de profundidad, los cuales corresponden a las huellas o marcas de roderas de los “carros”, debido a su antiguo uso. La vía atraviesa un curso de agua o canal, de unos 4 m de ancho, que se encuentra perfectamente delimitado mediante unos muros o límites perimetrales. El relleno de este curso de agua está constituido por una capa de gravas y bloques de piedras de medianas dimensiones.

Además, se encontraron unidades arquitectónicas funerarias (necrópolis) en los laterales de la vía y en ellas varios restos de: nivel de cenizas y carbones con concentraciones de restos óseos, fragmentos de marfil, ungüentarios de vidrio (vasijas), clavos de hierro, etc.



Figura 3 Camino Romano encontrado

De la longitud total de la vía que se desconoce, se descubrió una longitud de aproximadamente 32 metros (figura 4) de los cuales se pueden sustentar aproximadamente 30 metros con una anchura de 18-19 metros; y, de esta manera, conservar tanto la calzada como gran parte de las estructuras funerarias perimetrales.

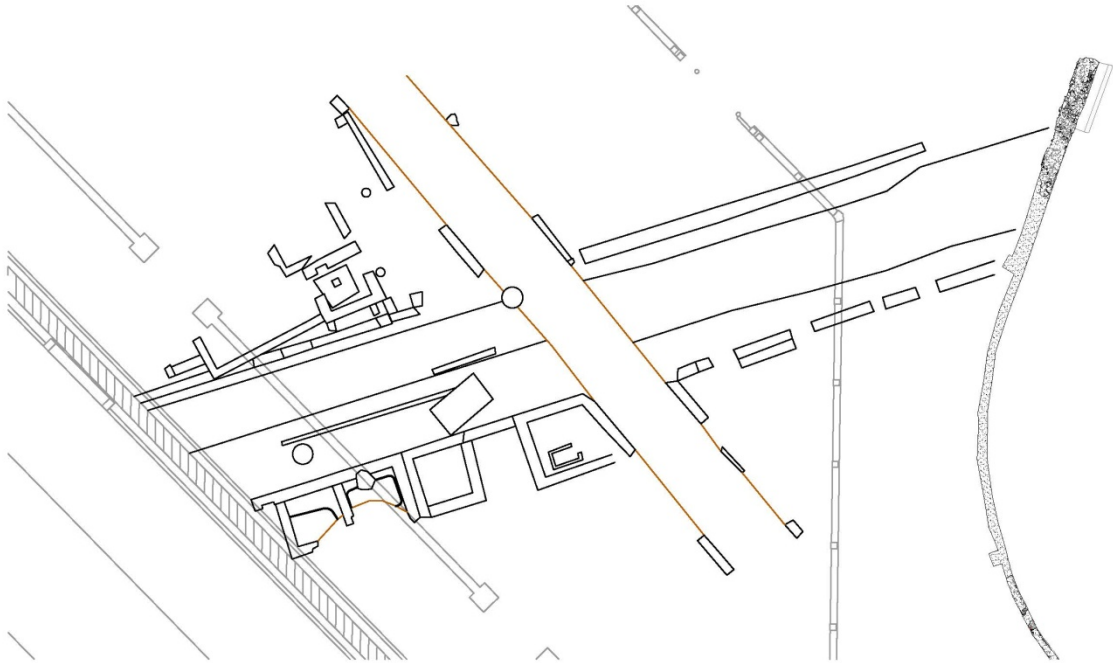


Figura 4 Plano de los restos romanos encontrados

Una vez excavado, delimitados y dimensionados el camino romano y la contramuralla, se procedió a ejecutar una de las 3 alternativas más relevantes propuestas.

Estas tres alternativas fueron las siguientes:

I. Opción de "Isla":

Se plantearon dos tipos de ejecuciones para esta alternativa: una de ellas con un anillo de acero de contención perimetral y la otra con anclajes. El presente trabajo se centra en la alternativa con anclajes, dado que fue más relevante a la hora de la elección final.

La zona de actuación se encontraba entre el estrato UG2B a 6.70m y el estrato UG3A a 4.80m hasta -8.00m (cota ± 0.00 es el nivel del mar).

El proceso de ejecución se planteó mediante diferentes fases. El método constructivo estaba basado a partir de unos micropilotes laterales al camino romano, de 20 metros de profundidad y de 140mm y 200mm de diámetro, que se encargarían de la contención de tierras, para luego ir excavando por tramos y cada 3-4 metros realizar los anclajes provisionales con inyección repetitiva (tipo IR) hacia el interior de la isla, que se iría formando bajo el camino romano con un ángulo desde la horizontal de $\alpha=45^\circ$ (ver figura 5). Así se conseguiría poder llegar al nivel de cota de la planta -4 para poder empezar a realizar los forjados de las diferentes plantas, de abajo a arriba. Una vez que se fueran ejecutando las losas de las diferentes plantas, y a medida que se fuera ascendiendo, se procedería a ir extrayendo los anclajes realizados, ya que la contención la realizarían los forjados.

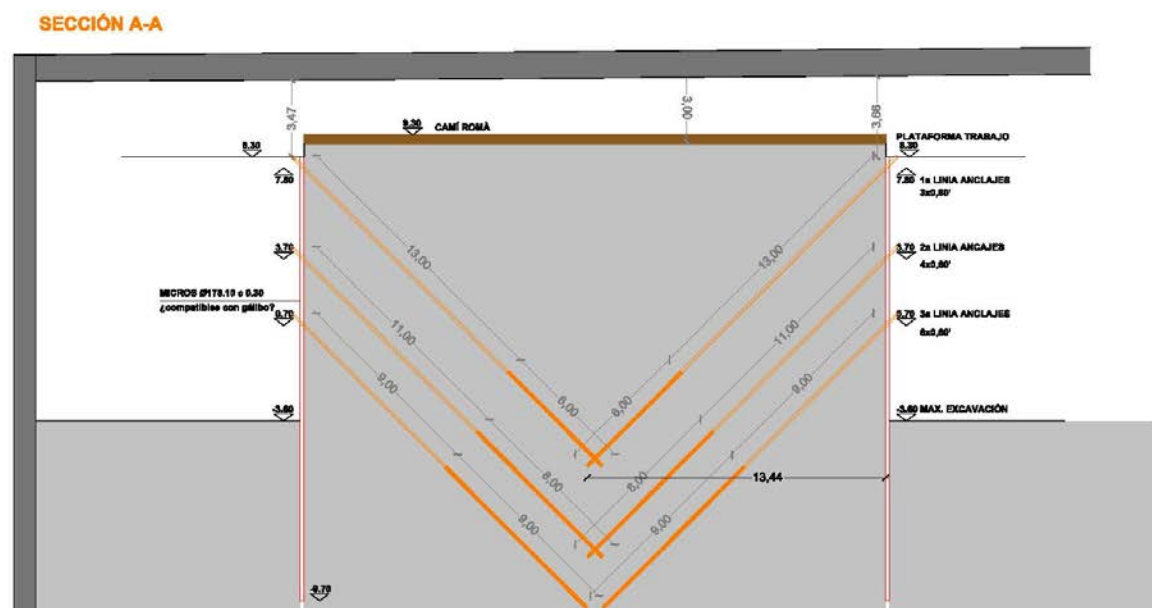


Figura 5 Croquis de la opción de Isla con Anclajes

Los principales problemas que se encontraron fueron, principalmente la reducción del área comercial y de aparcamiento por debajo del camino romano (pérdida de ingresos económicos y de capacidad), y los cruces de los anclajes, a causa de la larga distancia. Por lo tanto, había un riesgo de mala colocación y por ende, una mala respuesta estructural dada su función primordial.

II. Opción de cierre parcial de la zona

Esta opción era la más sencilla pero la que presentaba más inconvenientes, ya que el cierre parcial de la zona afectada por los restos arqueológicos implicaba una reducción de áreas a todos los niveles mucho más importante que la opción anterior, respecto a la capacidad

comercial en el primer nivel bajo la losa de la cubierta (planta -1) tal y como se muestra en la figura 6, y de parking en los tres niveles inferiores (plantas nivel-2 a -4). Esta reducción de metros cuadrados ejecutables en la remodelación del mercado puso en duda la viabilidad de todo el proyecto en sí; ya que afectaba directamente a la rentabilidad de la reforma a largo plazo y también a la UTE como constructora.

Por estas claras razones, al ser tan restrictiva y polémica, esta opción fue la primera descartada en la toma de la decisión final.

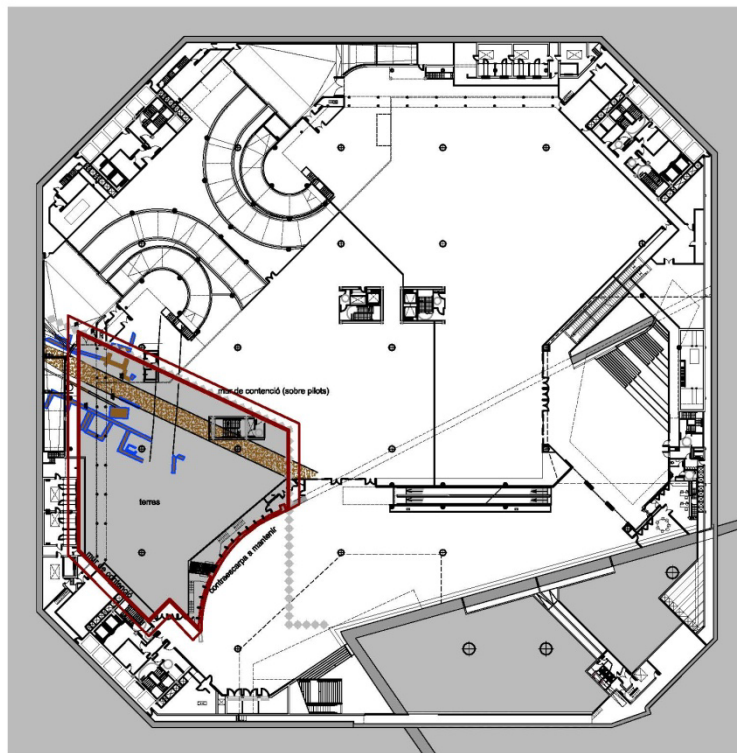


Figura 6 Planta del nivel -1 con la zona afectada por el camino romano cerrada

III. Opción de apeo:

Esta fue la alternativa elegida finalmente y por lo tanto, la ejecutada. La principal característica de esta opción es el apuntalamiento provisional del camino romano a partir de unas torretas de micropilotes de manera que se pudiese garantizar la excavación por debajo del camino romano para poder seguir con el sistema constructivo previsto y enunciado anteriormente, hasta poder llegar a apoyarlo en la losa de la planta -1.

La zona de actuación se encuentra entre el final del estrato UG2B y el estrato UG3A, que es donde se encontró la vía romana. Una vez determinadas las dimensiones a conservar por parte

de los arqueólogos, se procedió a la inserción a 12 metros de profundidad de los micropilotes metálicos de 0,177m de diámetro de las torretas de apeo y a la excavación por debajo del camino romano para poder realizar una estructura de apoyo que pudiera transferir la carga a esas torretas.

La excavación consistió en dejar un grueso de 1,2 metros repartidos entre el camino romano y una columna de tierras del estrato UG3A. Esa parte de tierras, se dejó con una cierta inclinación en los laterales, un ángulo de inclinación igual al ángulo de rozamiento interno del estrato.

Una vez acondicionados estos primeros 1,2 metros, se procedió a hincar horizontalmente unos tubos huecos cuadrados metálicos de 1000x1000x12 milímetros y de longitudes variables entre 12 y 21 metros aproximadamente (dependía de la longitud del área según la posición de la hinca). Esta hinca se realizó con un método bastante rudimentario, de excavación longitudinal manual, a causa de que existía un gran riesgo de afectación al camino romano, en caso de aplicar grandes esfuerzos longitudinales. Mientras se realizaba la excavación manual, el tubo iba avanzando ocupando el hueco excavado a través de unos gatos hidráulicos. Para ello, se tuvo que realizar un sistema de muros de contención tanto de tierras como de hormigón (muros de reacción), tal y como se muestra en la figura 7.

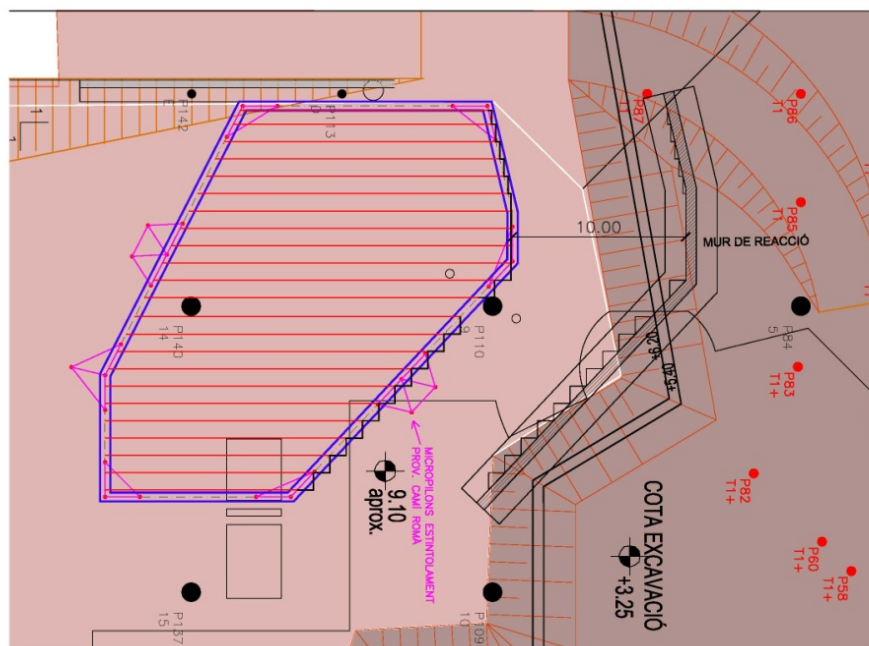


Figura 7 Planta de la zona acondicionada para la hinca de los tubos cuadrados huecos

En la realización de este sistema, se aprovechó (y se realizó) la excavación de la parte superior de los micropilotes de las torretas de apeo, ejecutados previamente.

Una vez hincados aproximadamente 20 tubos, se procedió a realizar una viga de atado perimetral de hormigón armado de dimensiones 0,5x1,3 metros por encima de los tubos huecos y donde acababan las tierras superiores (las de debajo del camino romano). Como había riesgo de que los tubos huecos no estuvieran perfectamente alineados y para que pudieran transferir los esfuerzos a la viga de atado, además se utilizaron unas barras GEWI para atirantar los tubos a la viga. Para que la viga de atado además pudiera transferir los esfuerzos a las torretas de apeo, uno de los micropilotes de las torretas de apeo también quedaba dentro de la viga, conectada con el armado (detalle mostrado en la figura 8). Para ello se excavó previamente la parte superior de éstos.

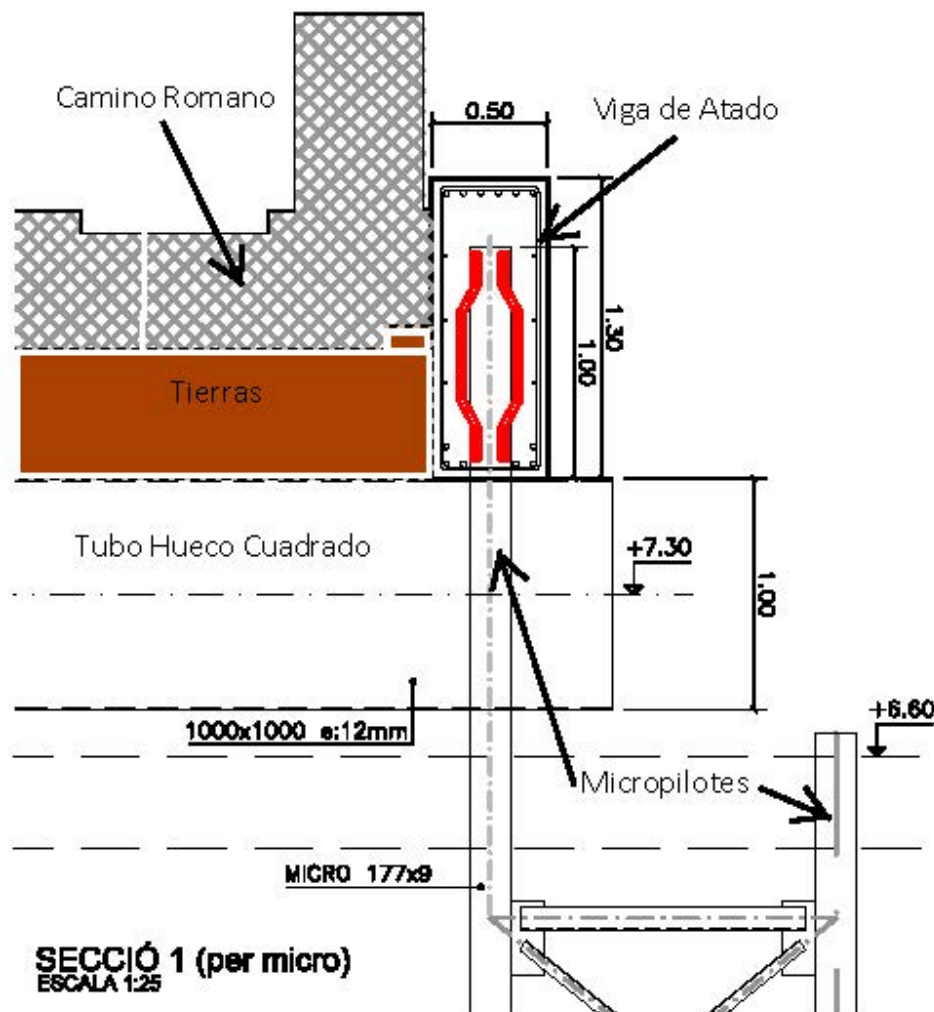


Figura 8 Primer detalle de la viga de atado

Finalmente se procedió con la excavación global prevista en el proyecto, hasta la planta -4, mientras se iban descubriendo los micropilotes de las torretas. En el recrecido de la estructura, cuando se ejecutó la losa de la planta -1, se procedió al desapeo del camino romano ya que el acabado previsto era que el bloque camino romano-tierras-tubos huecos se apoyara en el forjado de la planta -1.

Los inconvenientes de esta opción fueron los siguientes: la dificultad de la hinca de tubos que tuvo que ser manual, la dificultad de continuar con el método proyectado de excavación, al existir los micropilotes de apeo y el aumento de 0,15 metros de canto del forjado de la planta -1, pasando de 0,35 a 0,5 metros, valor que repercutió directamente en el valor económico previsto, además de todo lo que esta estructura de apeo supuso como coste adicional. A pesar de estos inconvenientes, fue la opción elegida por mantener las condiciones iniciales del proyecto del mercado.

3.2 Objeto de Estudio

El objeto de estudio del presente trabajo de fin de grado es el de estudiar una alternativa constructiva que no fue valorada en su momento, junto con las otras tres que se describieron en párrafos precedentes: atirantar el camino romano a la losa superior de la cubierta.

La alternativa que se plantea en el presente estudio conserva la primera estructura de soporte de la vía romana, conformada por el camino mismo, la parte de tierras y los tubos cuadrados metálicos de 1000x1000x12 milímetros y de longitud variable dependiendo de la zona de aplicación. Así mismo y en consecuencia, también se conservará el mecanismo de hincaje a través de los gatos hidráulicos y el mismo sistema de muros de contención, tanto de tierras como de hormigón, ya que forman parte del proceso de hincaje. Por temas estructurales y de montaje, también se conservará la viga de atado perimetral de hormigón armado, pero con dimensiones diferentes.

A partir de esta primera estructura, las principales diferencias que introduce esta propuesta alternativa son las siguientes: un sistema de tirantes desde la viga de atado perimetral que pasarán a través de la losa superior de cubierta postesada de canto 1,2 metros. Una vez pasados los tirantes, se anclarán a dos vigas transversales y éstas, a su vez, se unirán a unas vigas de reparto también de hormigón armado perpendiculares, situadas entre pilas-pilote, a fin de que las cargas descarguen directamente en las pilas. De esta manera, se afecta lo menos

posible la capacidad de carga de la losa de la cubierta y se puede resolver el aumento de carga en las pilas modificando sus cimentaciones posteriormente. Esta propuesta también permitiría reducir las cargas muertas soportadas por la losa de la cubierta de relleno y pavimento (acabado previsto en proyecto), sustituyéndolas por un posible acabado más ligero, al generarse un espacio vacío entre vigas. Además, al estar colgado, es posible ahorrar los metros cuadrados de losa de la planta -1 (aproximadamente 400 m²), parte de abajo del camino romano, ya que no será apoyado, y el resto del forjado de la planta -1 podrá recuperar el canto estimado originalmente de 0,35 metros. Esto se traduce también en una reducción de coste considerable y en una ganancia de espacio por el que podrían pasar los servicios e instalaciones proyectadas.

Otro aspecto beneficioso de esta alternativa sería que facilita la ejecución del método constructivo previsto y proyectado, ya que no habría torretas de apeo y, por lo tanto, no habría una reducción de espacio para las excavaciones de los niveles inferiores.

Una vez descrita la alternativa constructiva del presente estudio, a continuación se plantea la comparación directa entre la alternativa propuesta respecto de la opción de apeo ejecutada. La comparación se plantea en términos de calidad estructural, viabilidad, tiempos de construcción y costes.

Este análisis comparativo permitirá valorar de forma objetiva si la alternativa del presente estudio hubiese podido ser considerada como alternativa a la ejecutada, o en caso contrario, porqué no.

4 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUIDA

A partir de un Proyecto Básico presentado en el Ayuntamiento de Barcelona en octubre de 2009, y después de resultar adjudicatario de las licitaciones correspondientes la U.T.E. NOU MERCAT DE SANT ANTONI SACYR, COPCISA, SCRINSER encabezada por SACYR S.A., se desarrollaron tres proyectos ejecutivos parciales correspondientes a tres fases de ejecución: escombros, cimentación y demás trabajos de acabados necesarios para la finalización de las obras.

Los títulos de los tres proyectos presentados a día de hoy fueron los siguientes:

1-“Reforma del Mercado de San Antonio. Trabajos Previos y Escombros. Febrero de 2010.”

Define los trabajos iniciales necesarios de limpieza y el derribo de los elementos que no se conservan del mercado, como almacenes, vallas, cubiertas y otras edificaciones que habían ido anexionando al edificio principal a lo largo de los años, sin valor específico alguno.

2-“Proyecto Ejecutivo de reforma del mercado de San Antonio. Definición de pantallas. Abril de 2010”.

Define la ejecución del sistema de cimentación profunda: las pantallas perimetrales para la ejecución de las plantas sótano y las pilas pilón de apoyo de la losa pos-tesada que tendrán la función de apuntalar el edificio histórico.

3-Proyecto Ejecutivo de reforma del mercado de San Antonio. Mayo 2012.

Define todos los trabajos de acabados necesarios y restantes para la finalización completa de las obras y a excepción de los trabajos ya descritos en las fases anteriores.

Estas tres partes fueron adjudicadas a la U.T.E. NOU MERCAT DE SANT ANTONI SACYR, COPCISA, SCRINSER, aunque finalmente la tercera parte se dividió en dos, de manera que se añadió una cuarta parte de arquitectura e instalaciones, que, a fecha de este Trabajo, se está por licitar. La dirección de obra (DO) está compuesta por los arquitectos diseñadores del proyecto Pere Joan Ravetllat, Carme Ribas y Olga Schmid, la dirección de ejecución de obra (DEO) la ejerce la ingeniería ESTEYCO S.A.P que también da asistencia técnica a la DO ya que fueron los calculistas del proyecto; conformando ambos la dirección facultativa (DF: DEO+DO). Además, ACTIO PROJECT MANAGEMENT & ENGINEERING SL se encarga de la gestión del proyecto al ser los Project managers.

La estructura de ampliación del mercado ha sido concebida para poder ejecutarse sin afectar a la estructura actual del mercado. En el proyecto 2 se ejecutaron las pantallas perimetrales y la red principal de pilas pilón encargadas de sostener la losa superior (de la cubierta). La ubicación de las pilas pilón se pensó para permitir su ejecución desde el exterior de la estructura actual del mercado, evitando problemas de gálibo de la maquinaria de perforación. Una vez finalizado el proyecto 2, se inició el proyecto 3. En este proyecto, se realizó la losa de la cubierta postesada durante la primera fase y durante la segunda fase se procedió con la excavación por debajo de ésta.

Durante esta excavación se identificaron los restos arqueológicos previstos, la muralla y la contramuralla medieval, y se encontraron los restos no previstos, el camino romano. A causa de estos hallazgos no previstos, se propusieron varias alternativas y se eligió una de ellas. Tomando el camino romano como elemento central del presente estudio, la alternativa constructiva que se propuso se basaba en apeaar provisionalmente la vía romana, para posteriormente, una vez realizada toda la estructura de losas inferiores, poder desapearlo y apoyarlo a la losa de la planta -1. El Anejo B recoge la siguiente información relevante correspondiente al proyecto ejecutado: la memoria con los anejos más relevantes, los planos y el presupuesto. Además está incluido el PIA¹ (Plan de Intervención Arqueológica) de utilidad también para la presente propuesta alternativa.

La zona de actuación de la solución ejecutada se encontraba entre el final del estrato UG2B (gravas y arenas en matriz arcillosa) y el estrato UG3A (arcillas y limos con intercalaciones de gravillas en matriz limosa). Los arqueólogos tuvieron que determinar las dimensiones a conservar, ya que la longitud afectaba a la ejecución de una de las rampas de acceso a la excavación bajo la losa, en la calle Borrell. Pero, por encima de todo, afectaba a los cálculos, ya que, cuantos más metros cuadrados hubiese, más comprometida estaría la estructura proyectada y, por lo tanto, más cambios estructurales se deberían hacer. El área resultó de aproximadamente 400 metros cuadrados.

Una vez determinadas las dimensiones, se procedió con la inserción de los micropilotes metálicos de 0,177m de diámetro de 15,52 metros y de 24 metros de profundidad aproximadamente, pero necesitarían un recubrimiento de hormigón. Para ello, se realizaron

¹ El PIA incluye las actuaciones referentes a la muralla y contramuralla ya que estaban documentadas previamente a la redacción de éste; aunque habla de la posibilidad de posible hallazgos post-excavación (camino romano). Mirar detalle figura 6.

perforaciones de 0,250m de diámetro que incluyeron el recubrimiento de hormigón y el micropilote metálico. Estos micropilotes se ejecutaron alrededor del camino romano en puntos donde posteriormente se convertirían en las torretas de apeo de éste, hechas con grupos de 3 y de 6 micropilotes unidos por barras cruzadas metálicas. La distancia entre torretas cumpliría como mínimo 3 metros para poder garantizar el acceso a los trabajos de excavación por debajo. La función de estas torretas de micropilotes fue la de ser una estructura de apoyo provisional que pudiera transferir la carga, tal y como se muestra en la figura 9.

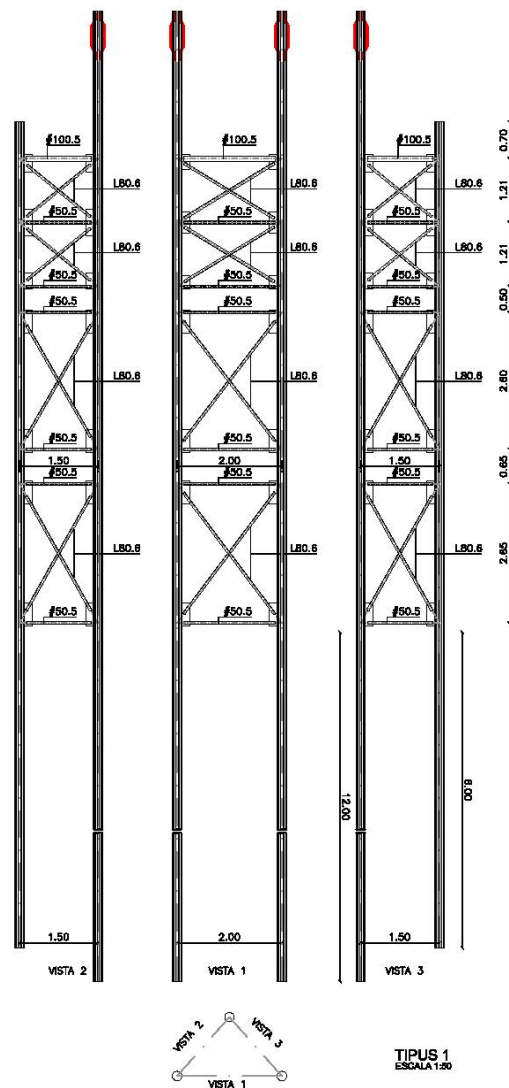


Figura 9 Detalle de las torretas de apeo de un grupo de 3 micropilotes

Para poder mantener el camino romano y poder realizar los trabajos de conservación y de apeo provisional por debajo de él, se tuvo que mantener una zona de tierras del estrato UG3A, de manera que el canto fue de 1,2 metros, repartidos entre camino romano y las tierras de arcillas y limos con intercalaciones de gravillas en matriz limosa. Esta parte de tierras, se dejó con una cierta inclinación en los laterales, 27° de ángulo de inclinación, igual al ángulo de rozamiento interno del estrato.²

Una vez preparado el primer paquete de 1,2 metros entre el camino romano y tierras, se procedió a realizar unos trabajos previos para poder realizar el proceso de hincaje horizontal de unos tubos huecos cuadrados. Estos trabajos consistieron en construir un muro de reacción (muro de empuje) a 10 metros de distancia de la zona a hincar de 3 metros de altura y 0,60 m de grosor donde se apoyaría la empujadora prevista para el hincaje: unos gatos hidráulicos de 1,50 metros de ancho y 9,50 metros de largo seccionable en bancadas de 3 metros, dependiendo del foso, y empujados por cilindros, con chasis de vigas de acero y central hidráulica diésel. Se montó sobre una zapata de 3 metros de ancho y 0,80 m de grosor a lo largo de todo el muro. A continuación se procedió a rellenar de tierras la zona entre el muro y principio del talud (zona de hincaje). Una vez ejecutado el muro y hecho el relleno de tierras, se ejecutó una solera de 20 cm entre muro de reacción y el principio de la zona a hincar, formando un ángulo de 90° con muro de reacción o empuje (ver figuras 10 y 11).

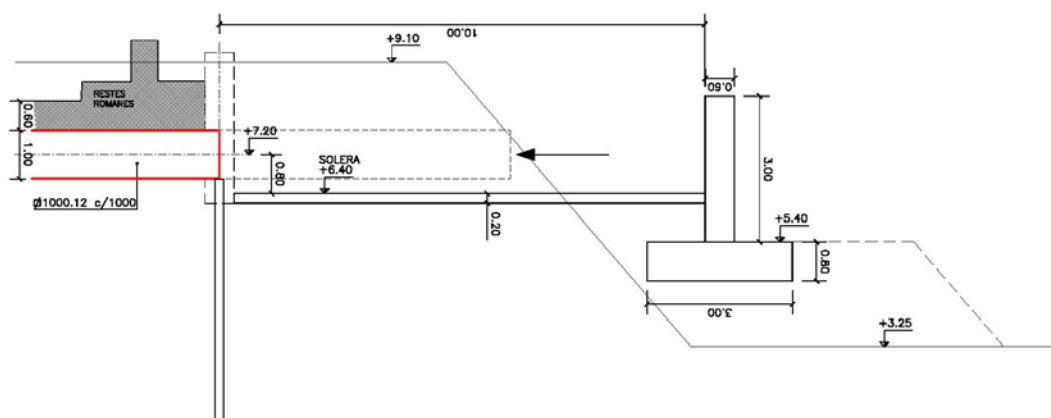


Figura 10 Detalle 1 de los trabajos previos

² En el proyecto del complementario, estaba previsto realizar un paraguas horizontal de micropilotes bajo el camino romano para poder trabajar con más seguridad bajo él. Durante su ejecución se llegó a la conclusión que podía ser riesgoso ya que dados unos posibles desvíos, podrían llegar a causar daños significativos en la vía romana. Por eso, no solo no se hicieron, sino que se dejó una columna de tierras. Tanto la memoria como los anejos del proyecto ejecutado no están corregidos y por lo tanto salen los detalles del paraguas de micropilotes en vez de las tierras.

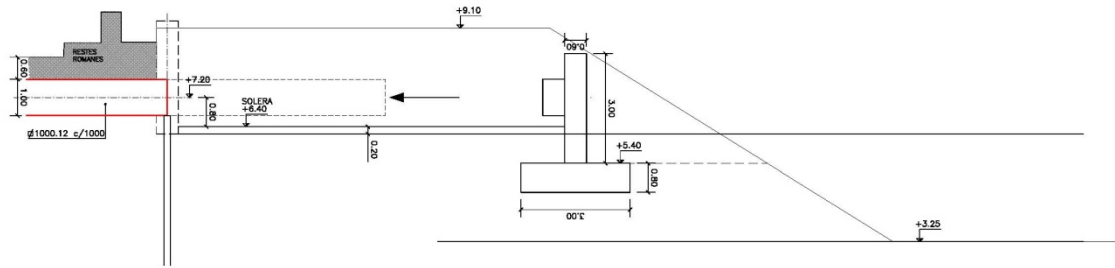


Figura 11 Detalle 2 de los trabajos previos

Después de realizar los trabajos previos necesarios, se procedió a hincar horizontalmente unos tubos huecos cuadrados metálicos de 1000x1000x12 milímetros y de longitudes variables entre 12 y 21 metros aproximadamente (dependía de la longitud del área según la posición de la hinca) tal y como se muestra en la figura 12. El largo de la sección metálica prefabricada era de tramos de 6 metros que se iban soldando a medida que se iban hincando con una soldadura de hilo, hasta llegar a la dimensión necesitada según la posición de éste, representado en el detalle siguiente.

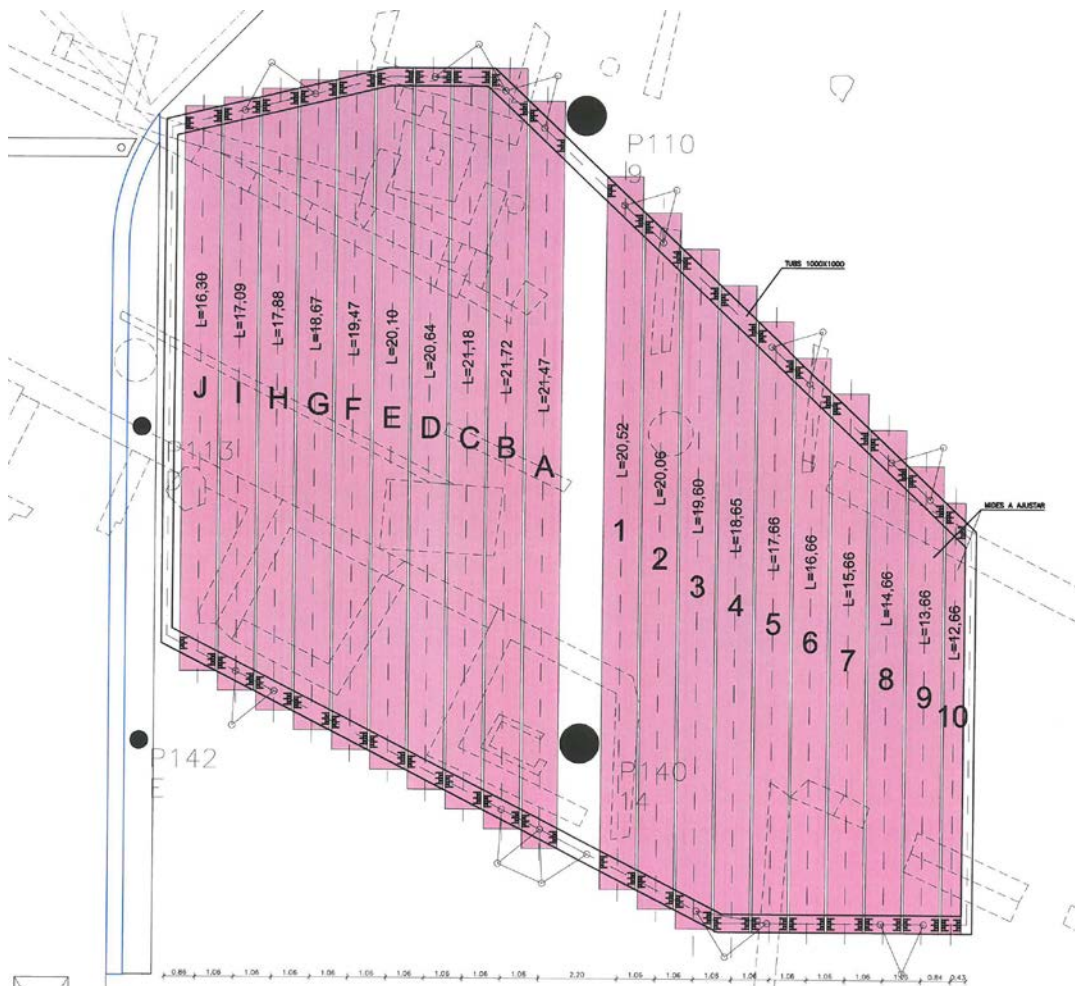


Figura 12 Detalle de las dimensiones de los tubos huecos cuadrados hincados

El método de hincaje tuvo un método bastante rudimentario ya que fue una excavación longitudinal combinado trabajos manuales y un trabajo de empuje de unos gatos hidráulicos, a causa del gran riesgo de arrastre del camino romano por aplicar grandes esfuerzos longitudinales por debajo de él. Por lo tanto fueron unos trabajos que requirieron especial atención y mucho tiempo de ejecución.

Se empezó el proceso de hincaje realizando una excavación manual con martillo o taladro mediante la realización de pequeñas galerías superiores abovedadas de las mismas tierras por seguridad del operario, se vaciaban las tierras del interior del tubo y se avanzaba el tubo por tramos de entre 30 y 40 cm, a través del empuje de los gatos hidráulicos ocupando el hueco excavado (ver figura 13). Este proceso se repitió sucesivamente hasta llegar al foso de salida.



Figura 13 Epujadora de gatos hidráulicos

Al llegar al foso de salida, también había cierto riesgo de arrastrar, con la llegada del tubo, el bloque de tierras y del camino romano superior, hecho que provocó la necesidad de apuntalar las tierras mediante unos puntales y unas chapas superiores de 3x1,25x0,010 metros para la

contención de las tierras. Con este mecanismo, se tuvo que realizar una pequeña zapata (ver figura 14) y un muro de relleno de hormigón, tal y como indica la figura 11. Así, se consiguió reducir el riesgo de arrastre y aguantar con esta estructura provisional de aguante hasta poder realizar la viga de atado.

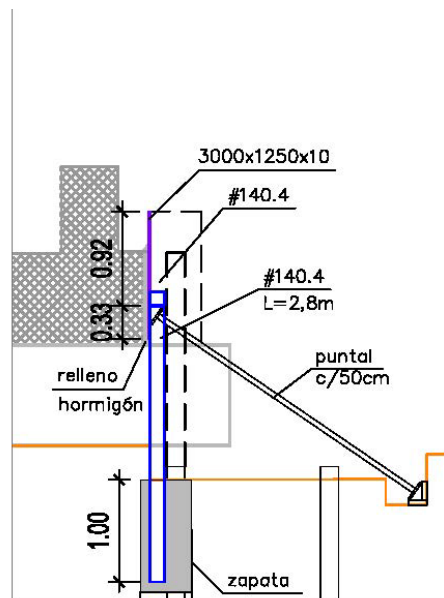


Figura 14 Detalle del apuntalamiento provisional

Posteriormente y ya como detalle definitivo, después de todos los trabajos de hincaje en toda la área, la estructura provisional de apuntalamiento provisional se modificó por una estructura muy parecida pero a través de unas barras metálicas cuadradas de 8x8x5 milímetros y de 4x4x4 milímetros en triángulo, soldadas tanto a la chapa como a los tubos huecos inferiores de 1000x1000x12 centímetros (ver figura 15).

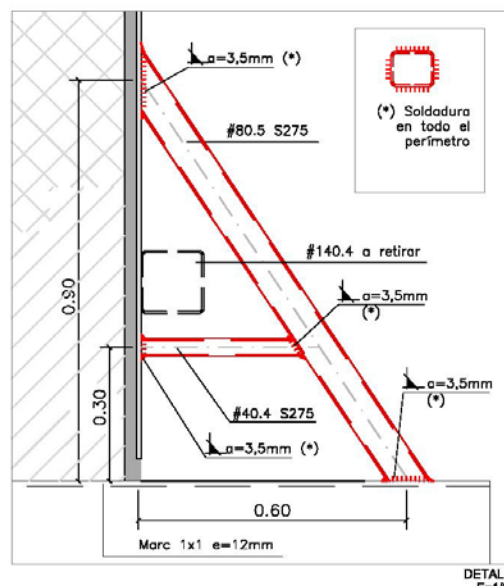


Figura 15 Detalle del apuntalamiento definitivo

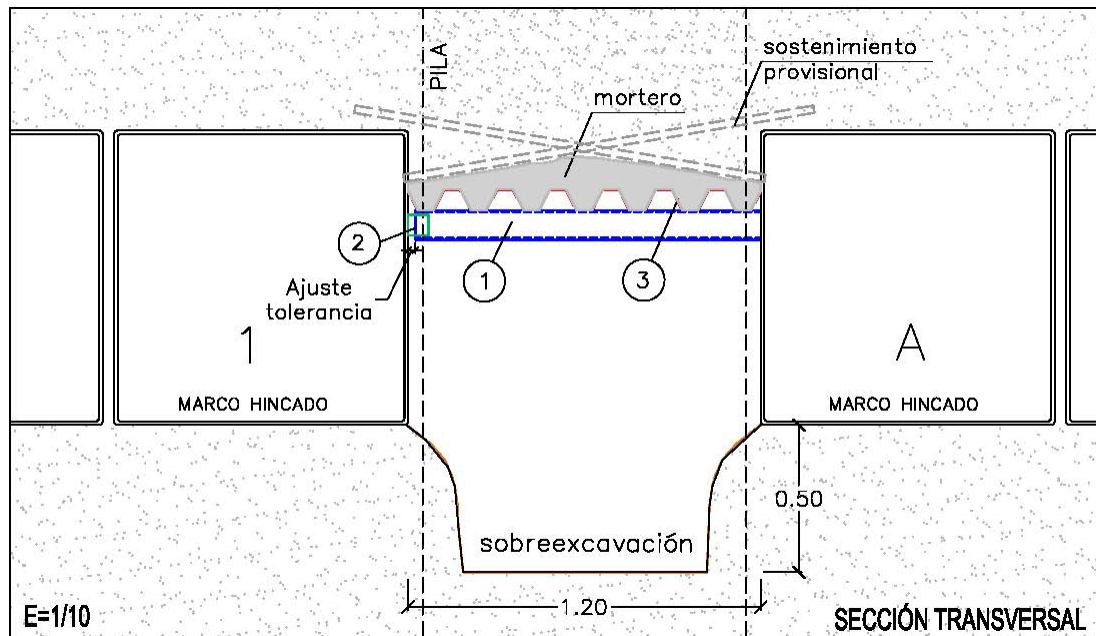


Figura 16 Detalle del sostenimiento zona entre pilas pilote

Una vez acabada la hincada de todos los tubos, quedó un espacio vacío tal y como indica la anterior figura 12, por el hecho de que aproximadamente en medio del área de conservación arqueológica se encontraban dos pilas pilote de 1,10 metros de diámetro. Este hecho impedía completamente la hincada de un tubo hueco. Para ello, se realizó una estructura de sostenimiento de tierras mediante anclajes de barras de acero de 25mm de diámetro hacia las tierras de arriba desde los tubos huecos laterales cada 30 centímetros y recubiertos de resina. Por debajo, se rellenaría toda la sección de mortero contenido por debajo mediante unas chapas grecadas de 7 centímetros de altura y de 0,7 milímetros de espesor, apoyadas cada 40 centímetros a vigas metálicas transversales de tipo IPE 100 (ver figura 17).

Además, al acabar todos estos trabajos, se aprovechó y se realizó la excavación de la parte superior de los micropilotes de más longitud de las torretas de apeo ejecutados previamente. Esto se realizó en este momento ya que sería algo esencial para la ejecución de la viga de atado.

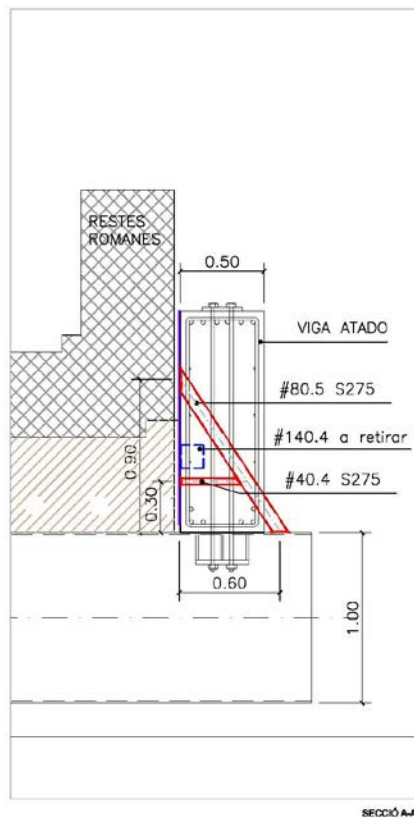


Figura 17 Segundo detalle de la viga de atado

Así se procedió a realizar una viga de atado perimetral de hormigón armado de dimensiones 1,3x0,5 metros por encima de los tubos huecos y paralela a donde acababan las tierras superiores (las de debajo del camino romano). En esta viga de atado, quedarían integrados los micropilotes de mayor longitud recién excavados y el mecanismo de apuntalamiento definitivo de vigas metálicas. Además, como había riesgo que los tubos huecos no estuvieran perfectamente alineados y para que pudieran transferir los esfuerzos a la viga de atado, se utilizaron como elementos adicionales unas barras GEWI para atirantar los tubos a la viga. Con esta estructura se conseguía una perfecta distribución de los esfuerzos a las torretas de apeo. Los detalles se muestran en la figura 8 y en la figura 17.

Con todo el sistema de apeo finalizado, se procedió con la excavación global bajo la cota del camino romano y realizando una red secundaria de pilas-pilotes. Esta red secundaria, que reduciría a la mitad las luces a cubrir por los forjados de los sótanos (en torno a los 8-9m) respecto al forjado de cubierta, estuvo formada por pilas-pilote de menor diámetro a las ejecutadas en fase 1 (pilas-pilote de 1,10 metros de diámetro encargadas de soportar la losa superior de la cubierta), pero conceptualmente iguales: un pilón de 1m de diámetro de hormigón armado, y una pila circular mixta de 0.5 m de diámetro formada por una chapa

exterior de acero de 10 mm de espesor con hormigón armado en el interior. Estas pilas mixtas sólo están ubicadas en la corona exterior del recinto, que es el ámbito del forjado de la planta-2. Cabe destacar que al llegar a la cota de la losa de la planta -2 se realizó esta losa de manera parcial, de forma perimetral que definiría como una “rosquilla” exclusivamente para anclar las pantallas perimetrales a causa de la extracción de tierras. Después de la ejecución parcial de la losa de la planta -2, se siguió excavando hasta la planta -4 mientras se iban descubriendo los micropilotes de las torretas de apeo del camino romano.

A partir de ese nivel y después de la ejecución de las cimentaciones profundas de las pilas pilote de 1,10 metros de diámetro y de la red secundaria de pilas-pilote, se ejecutaron también los pilares, de hormigón armado, ubicados en la parte central de la excavación una vez alcanzada la cota máxima de excavación.

Durante el recredido de la estructura, al llegar a ejecución de del forjado de la planta -1 se procedió al desapeo del camino romano, ya que el acabado previsto era que el bloque camino romano-tierras-tubos huecos se apoyara y transmitiera las cargas a la losa. Para ello, el forjado se aumentó de 0,35 metros de canto a 0,5 metros para aguantar estas nuevas cargas.

Para llegar a poder desapear la vía romana se empezó por ejecutar el relleno del espacio existente entre la base de los restos arqueológicos y la superficie superior del forjado de la planta -1 con hormigón y mortero de alta densidad (ver figura 18). Siendo $h=30$ cm la distancia vertical entre la cara superior del forjado y la cara inferior de los tubos huecos metálicos de apeo, y aproximadamente unos 410m^2 la superficie a conservar y por lo tanto apeada, se estimó que el volumen de mortero necesario sería de 136 m^3 . El mortero que se utilizó fue un mortero de relleno autocompactante armado con fibras. Para poder realizar este relleno, se tuvo que encofrar todo el perímetro del relleno con madera de unos $h + 10\text{ cm} = 40\text{ cm}$ de altura (el contacto entre el encofrado de madera y el forjado se selló con espuma). Una vez ejecutado el relleno de mortero y ya endurecido (después de 48 horas) se pudieron iniciar los trabajos de desapeo del camino romano. Antes de esta operación y después de la misma se realizó un control de flechas en el forjado para evaluar las flechas diferenciales producidas.

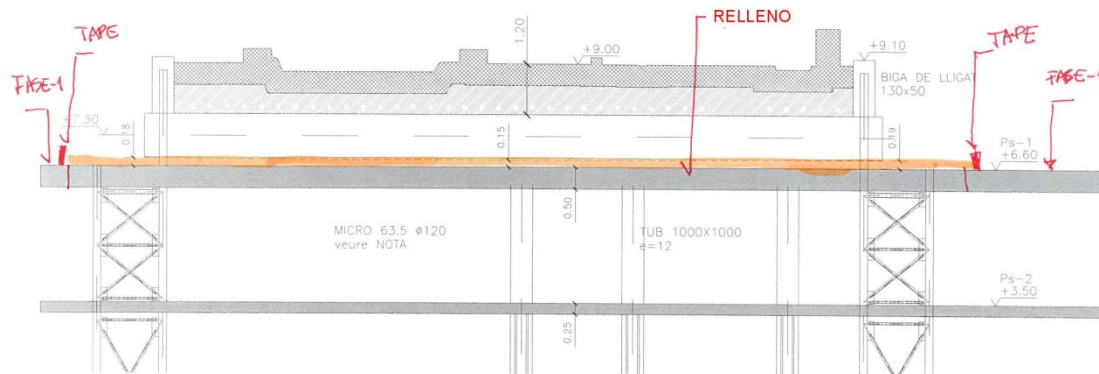


Figura 18 Detalle del principio del desapeo del camino romano

Consecuentemente se hizo un proceso de desapeo gradual basado en el aflojamiento de las barras de suspensión los tubos huecos metálicos hacia la viga de atado perimetral (las barras GEWI). Estas barras se aflojaron empleando una llave dinamométrica manual apropiada para las hembras de las barras. Se estimó que después de esta operación, un 90% de las cargas del camino romano ya descansarían sobre el forjado ya que sólo quedarían apeadas sobre los micropilotes las cargas del peso propio de la viga de atado perimetral).

Seguidamente se procedió al corte de los micropilotes para finalizar el proceso de desapeo. Se cortaron primero los micropilotes situados en el centro de luz del forjado para ir avanzando alternativamente hacia las secciones de pilares del forjado. De esta manera se garantizaba una entrada de carga sobre el forjado más natural y se evitaban sobrecargas sobre los micropilotes que se cortaban al final del proceso.

Para ello, se soldaron unas ménsulas a cada uno de los micropilotes en las que se colocaban dos cilindros hidráulicos (cilindros Enerpac RC-151, $\Phi_{ext}= 69\text{mm}$, Hrecogido =200 mm, Carrera= 25 mm y Carga admisible= 142 kN o similar). Estos permitirían elevar la carga, según los cálculos estimados, para colocar unas barras laterales que pasaban a recoger esta carga. A continuación, una vez retirados los cilindros, se procedía al corte de los micropilotes con soplete realizando dos cortes completos del micropilote separados unos 5 cm entre sí. Finalmente, se colocaba de nuevo los cilindros y se aplicaba la carga correspondiente para retirar las barras. A partir de ahí, se recogieron los cilindros hidráulicos y se retiraron. Con este proceso, la carga pasó de los cilindros hidráulicos hacia el relleno de hormigón y mortero ejecutado bajo el camino romano (ver figuras 20,21 y 22)

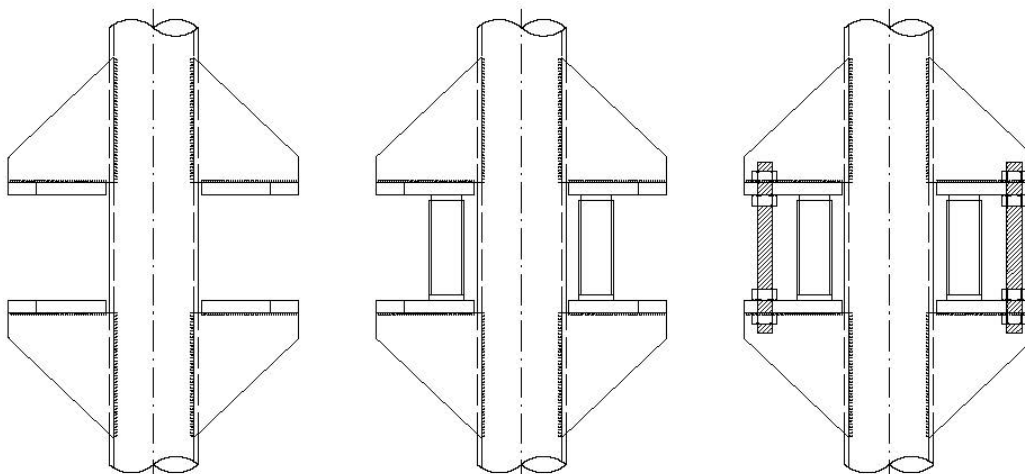


Figura 20 Operaciones preliminares del corte de los micropilotes de apeo

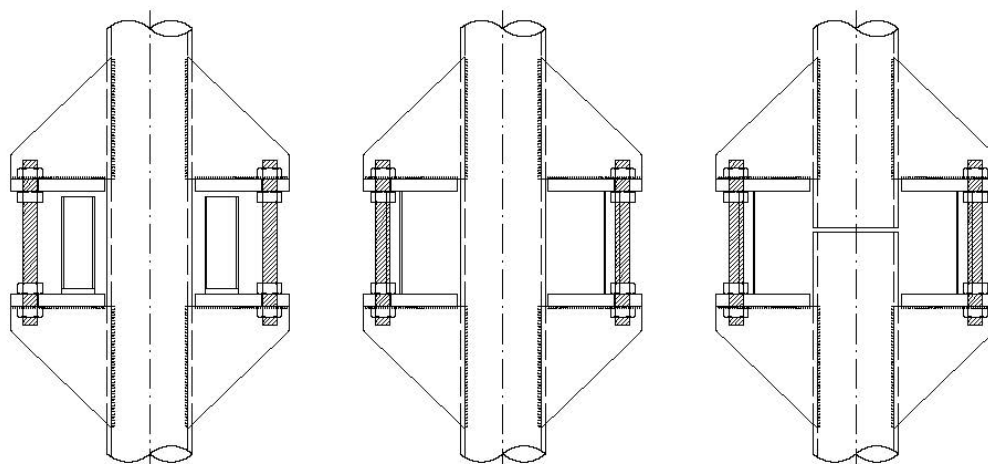


Figura 19 Primeras operaciones del corte de los micropilotes de apeo

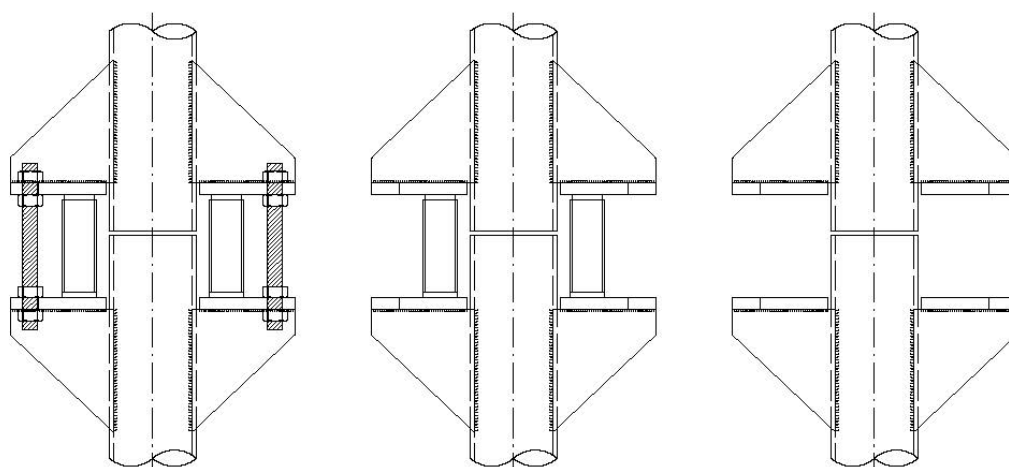


Figura 21 Segundas operaciones del corte de los micropilotes de apeo

5 ALTERNATIVA PROPUESTA

La alternativa constructiva que plantea el presente trabajo de fin de grado se basa en una diferencia fundamental con respecto a la ejecutada: en vez de una solución apeada, se plantea una solución atirantada. Para conseguir una comparación lo más ajustada posible, la alternativa propuesta conservará la primera estructura de soporte de la vía romana, conformada por el camino mismo, la parte de tierras, los tubos huecos cuadrados metálicos de 1000x1000x12 milímetros y de longitud variable dependiendo de la zona de aplicación (ver figura 22), y la viga de atado perimetral de hormigón.

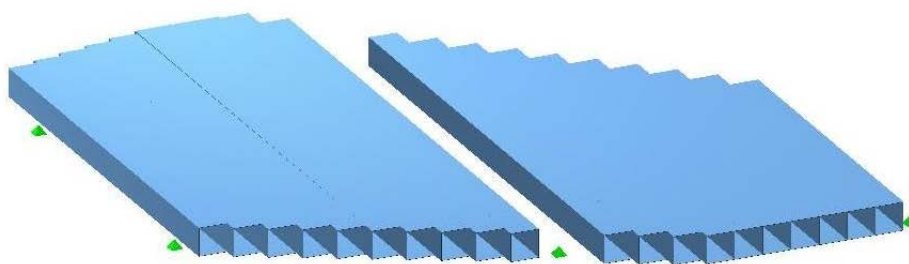


Figura 22 Modelo 3D de los tubos huecos de sección cuadrada.

En consecuencia, también se conserva el mecanismo de hincaje horizontal a través de los gatos hidráulicos y el mismo sistema de muros de contención, tanto de tierras como de hormigón, ya que forman parte del proceso de hincaje. El sistema de contención de las tierras se conserva en su totalidad: el sistema provisional con puntales y el sistema definitivo con barras metálicas cuadradas de 8x8x5 milímetros y de 4x4x4 milímetros en triángulo, soldadas a los tubos huecos inferiores de 1000x1000x12 mm.

A partir de mantener esta primera estructura, se introducen las grandes diferencias al proceso debido a que será una solución atirantada.

Inicialmente se barajó la idea de cambiar la viga de atado de hormigón armado por una viga de perfil metálico que habría abarcado en su alma todos los tubos huecos cuadrados mediante soldadura total. Pero uno de los principales problemas que suponía este cambio visual y

estético, era la dificultad de realizar esta soldadura total, ya que, por espacio y por seguridad del soldador, no podría ejecutar de ninguna forma las soldaduras verticales (las más fundamentales para transferir las cargas). Además, esta viga metálica hubiese tenido que soldarse in situ, a causa de sus grandes dimensiones. Desde el punto de vista estructural, también supuso dificultades en el cálculo de su dimensionado. Si por propiedades principales de las vigas metálicas la capacidad resistente es menor, a causa de la torsión, su respuesta también era más baja. Para ello se tendrían que haber introducido rigidizadores además de cerrar la doble T con otra alma en el extremo exterior. En resumen, podría haber tenido un acabado muy atractivo, pero suponía demasiados problemas estructurales y de montaje. Después de descartar esta propuesta inicial, se tuvo que conservar la viga de atado perimetral de hormigón armado, proyectado en la solución ejecutada, pero con algunos cambios, sobretodo en sus dimensiones y, como consecuencia, en su armado (tanto superior como inferior).

Esta viga perimetral de hormigón armado será de diferentes dimensiones a la ejecutada en la solución real ya que una vez ejecutada esta viga perimetral, saldrán unos tirantes metálicos prefabricados de acero al carbono de la empresa VSL CONSTRUCTION SYSTEM, S.A (CTT Stronghold, S.A.) embebidos en la viga, de 2 tipos diferentes según su posición. Se dimensionó en función de un total de 6 tirantes, de los cuales 2 irían soldados a las pilas-pilote más cercanas al camino. Por los resultados obtenidos, la métrica de estos tirantes era demasiado elevada. Por esta razón, se decidió que, en lugar de poner uno solo, se pondrían tres para dividir la carga. Por motivos de seguridad, esta carga se dividió entre 2.5 ya que los tirantes de más inclinación recibirían más carga. Además, podemos afirmar que como el ángulo de cada tirante respecto a la vertical (pila-pilote) es como máximo 30° ya que se conectaría lo más arriba posible, resulta ser un ángulo que no afecta de ninguna manera al comportamiento de las pilas-pilote. Estas pilas-pilote de diámetro 1.10 metros y forradas por un encofrado metálico, están diseñadas para transmitir a las cimentaciones todas las cargas recibidas de la losa superior de la cubierta. Por lo tanto, como la carga que reciben y transmiten es tan alta, la sobrecarga que recibirían de los 3 tirantes no le afectaría a su comportamiento. Como resumen, se colocarán un total de 10 tirantes, de los cuales 6 irán soldados a las dos pilas-pilote que se encuentran en el camino romano, y otros 4 atravesarán la losa postesada superior e irán embebidos a una viga transversal. Los 6 tirantes soldados a las pilas-pilote serán de tipo M85 ASDO-CTT520-S con una longitud de 3 metros aproximadamente y los otros 4 tirantes restantes serán de tipo M80 ASDO-CTT520-S con una longitud de 4 metros. Estos tirantes juntamente con sus respectivas conexiones no necesitan verificación alguna ya que

están previamente verificados mediante la normativa Europea y la Española. En el Anejo C del presente documento, apartado C.1. Cálculos justificados se encuentra el informe técnico Europeo del DIBT (Deutsches Institut für Bautechnik) que afirma que los tirantes ASDO, junto con sus accesorios, están diseñados según el Artículo 29 de la regulación Europea No.305/2011 y que forma parte de la EOTA (European Organisation for Technical Assessment).

Para evitarnos posibles movimientos laterales a causa de la inclinación de los tirantes conectados a las pilas-pilote, se arriostrará el camino romano horizontalmente a dichas pilas.

A unos tres metros aproximadamente por encima del camino romano se encuentra la losa postesada de la cubierta de 1,2 metros de espesor. Esta losa consta de varios ejes longitudinales de cables postesados que coinciden con las zonas por donde están ejecutadas las pilas pilote de 1,10 metros de diámetro, ya que es la zona destinada a absorber todas las cargas (ver figura 23). Para ello, entre estos ejes longitudinales se encuentra una zona aligerada transversal con mismo espesor que contiene también cables postesados (nervios) perpendiculares a los ejes longitudinales pero en menor cantidad, con una distancia entre ejes de 1,30 metros. Estas zonas reciben ciertas cargas que las conducen hacia los ejes longitudinales postesados, y así éstos conducen la carga hacia las pilas pilote.

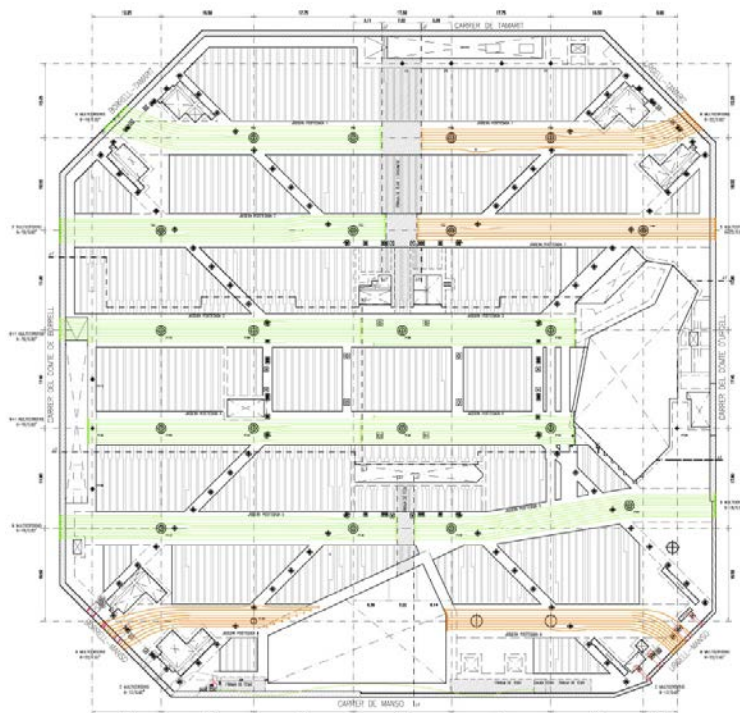


Figura 23 Ejes longitudinales postesados en la losa superior de cubierta (color verde y naranja)

Por esta razón, los tirantes que se consideran en esta propuesta no pueden pasar a través de la losa por la zona de los ejes longitudinales postesados, lo que supondría un riesgo elevado para la estructura. La rotura de uno de los cables comprometería seriamente a la resistencia global del eje transversal y con él, el de toda la estructura. La zona aligerada transversal contiene unos tendones o nervios separados por una distancia entre ejes de 1,3 metros, complementados con un armado de acero superior e inferior. Con esta configuración y de ahí lo de “zona aligerada”, el espacio efectivo de 1 metro entre nervios (ver figura 24), está rellena por porexpan. Por lo tanto, aprovechando el gran espacio entre nervios y la presencia de porexpan, los tirantes pasarán por esta localización. Atravesarán la losa de la cubierta a partir de unas aberturas hechas mediante taladros, a través de esta zona. Se usará un taladro para abrir las aberturas el hormigón superficial que tiene 15 milímetros de espesor hasta la armadura superior y lo mismo para el hormigón inferior que tiene un espesor de 10 milímetros. Como el resto es porexpan, no necesitaría ningún elemento especial fuera de un taladro para ejecutar las aberturas.

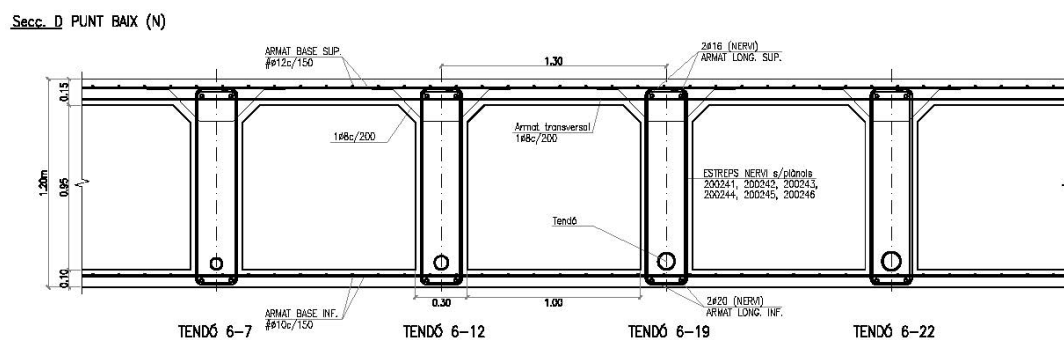


Figura 24 Detalle zona aligerada de la losa de la cubierta

Una vez ejecutadas las aberturas para que pasen los tirantes, se realizará un mecanismo de reparto de cargas mediante una estructura “aporticada”. Esta estructura constará de unas vigas transversales de hormigón armado, donde anclarán los tirantes embebidos en ella, y éstas repartirán las cargas de los tirantes a unas vigas de reparto perpendiculares a las anteriores, también de hormigón armado situadas entre pilas pilote (zona de ejes transversales postesada) para recibir toda la carga y transmitirla directamente a las pilas. Por cuestiones de recursos, tiempo y el alto nivel de complejidad que tienen estas vigas de reparto, al estar totalmente apoyadas a la losa, no se han podido verificar según la EHE-08. Se ha estimado y asumido una cuantía mecánica para su dimensionamiento que según la ingeniería Esteyco S.A.P sería una cuantía aproximada. Para poder dimensionarlas

correctamente sería necesario varias semanas de análisis estructural y mediante diversos recursos informáticos a causa de la complejidad.

Para que la losa no se resienta de nuevas cargas, por debajo de la viga transversal que recibe los tirantes, se colocará unas placas de porexpan. Así nos aseguramos que solo las pilas-pilote absorban la totalidad de las cargas. Si fuese necesario, la nueva sobrecarga transmitida a las pilas pilote se podrá corregir una vez se llegue, posteriormente a la excavación, a la cota de la planta-4 donde estaría prevista la realización de las cimentaciones profundas de las pilas pilote, aumentando por ejemplo las dimensiones.

Para la losa de la cubierta estarían proyectadas unas cargas adicionales de relleno y de pavimento como acabado final. Con esta alternativa, al tener ese entramado rectangular de vigas (transversales y de reparto sobre ejes postesados) sobre la losa, se crea un espacio que no lo rellenaríamos con el acabado proyectado, es decir que son cargas que nos ahorraríamos. Dado que la altura de las vigas coincide con la cota prevista de acabado, una posible idea sería que ese espacio fuese rellenado por unos elementos de porexpan haciendo de “cavity” para provocar que sobre ellos se pueda echar una capa de compresión mínima de hormigón y sobre él, el pavimento definitivo.

Al colgar el camino romano, la losa de la planta -1 podrá recuperar el canto estimado originalmente de 0,35 metros. Además, la alternativa propuesta ofrece la opción de ahorrar los metros cuadrados de losa de la planta -1 por debajo del camino romano, de aproximadamente unos 400 m²; ya que el camino no estará apoyado. Esto se traduce en una reducción de coste considerable y con una ganancia de espacio, por el cual podrían pasar los servicios e instalaciones proyectadas mediante la colocación de chapas en L soldadas o bandejas metálicas bajo los tubos huecos y con un acabado tipo reja como falso techo.

Finalmente, uno de los grandes beneficios que tiene esta alternativa es que, al no tener torretas de apeo, una vez se empieza a excavar por debajo del camino romano, los tirantes ya actuarán, de manera que las actuaciones referentes a la vía romana habrán acabado. Esto ayuda a que la excavación inferior general pueda recuperar la velocidad esperada en el proyecto, al eliminar los problemas de espacio y los elementos de riesgo, de los que se debería tomar medidas de precaución.

6 JUSTIFICACIÓN ALTERNATIVA PROPUESTA

6.1 Procedimiento Constructivo

El proceso constructivo de esta alternativa se inicia desde el primer elemento diferente a la solución ejecutada ya que como se ha comentado anteriormente, se conservará también para esta alternativa, la primera estructura de soporte de la vía romana conformada por el camino mismo, la parte de tierras, los tubos huecos cuadrados metálicos de 1000x1000x12 milímetros, y la viga de atado perimetral de hormigón aunque de diferentes dimensiones. Asimismo, todos los detalles de los elementos usados a continuación se pueden encontrar en el Anejo C del presente documento, apartado C.2. Planos.

Una vez realizada la hincas de todos los tubos juntamente con el sostenimiento utilizado entre los tubos centrales, donde se encuentran las dos pilas-pilote; y el sostenimiento definitivo después de usar el sostenimiento provisional de contención de tierras, se procederá a realizar la viga de atado perimetral. Esta viga de atado está dividida en tres secciones (S1, S2, S3) a parte de una sección base (S0), pero las cuatro de mismas dimensiones 1,2x1,7 metros y con un recubrimiento de 5 centímetros. Las tres secciones adicionales S1 a S3, son secciones que tienen una configuración de armado mayor a la básica como resultado de tener que resistir las zonas con máxima torsión y las zonas con momentos flectores máximos o simplemente mayores a la sección base. Esta información se ha obtenido gracias a un modelaje realizado con un programa de cálculo STATIK.

Después de encofrar lateralmente por ambos lados toda la zona perimetral, se procederá a colocar el armado específico de las barras de acero corrugado, cercos y ramas, dependiendo de la sección que nos encontremos tal y como muestra la figura 25. Los armados específicos de cada sección están verificados en el Anejo C del presente documento, apartado C.1. Cálculos justificados.

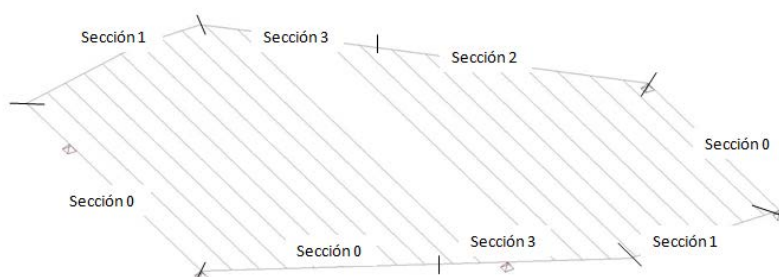


Figura 25 Modelo general del camino romano con los apoyos considerados y con las secciones consideradas bien delimitadas

Esta viga de atado perimetral de hormigón armado se diferencia de la ejecutada en la solución real, en que ésta recibe unas conexiones tipo anclaje para diez tirantes metálicos prefabricados de acero al carbono tipo S355J que se utilizarán para atirantar el camino romano (ver figura 26). Debido al hecho de usar un sistema de tirantes, la viga de atado tiene que ser mucho más resistente, de ahí la diferencia de dimensiones y evidentemente de configuración del armado.



Figura 26 Tirante metálico prefabricado de acero al carbono

Mientras se coloca el armado de esta viga, también se preparan las conexiones a los tirantes que van embebidas dentro de la propia viga y se procede con la colocación de los respectivos tirantes. Estas conexiones, en orden ascendente descendente (tirante-viga), constan de: una contratuerca de 80 milímetros de alto, un manguito cilíndrico de 108 milímetros de diámetro y de 260 milímetros de longitud con dos tipos de roscas, una rosca para el tirante y opuesto a ésta, otra rosca para una barra roscada específica de 75mm de diámetro y tipo S 670; esta barra pasa a través de una chapa de 325x325 milímetros y se ancla con una tuerca hexagonal de 130 milímetros de longitud al otro lado de la chapa haciéndola pasar por la barra (ver figura 27). Asimismo, como esta viga de atado está colocada encima de los tubos huecos y para que éstos puedan transmitir las cargas a la viga, se colocan tal como en la solución ejecutada, 4 barras GEWI de M20 en cada marco de los tubos. Una vez acabadas las conexiones, así como la colocación de las barras GEWI y de todo el armado, se procede a hormigonar la viga con un hormigón HA-30b/20/2a.

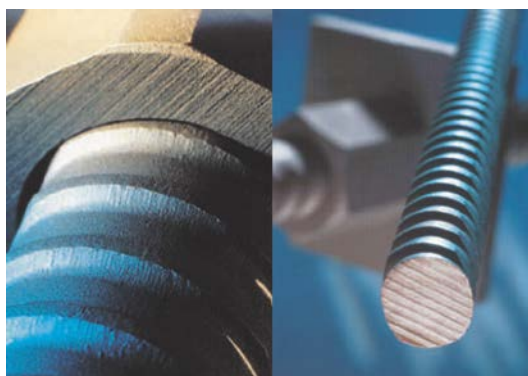


Figura 27 Barra roscada con chapa y tuerca

Estos tirantes se dividen en dos grupos de métricas diferentes según su posición, ya que el primer grupo formado por un total de seis tirantes irán soldados a las pilas-pilote y el segundo de un total de 4 tirantes, atravesará la losa superior de la cubierta a través de unos agujeros circulares taladrados previamente, y se conectarán a unas vigas transversales de hormigón armado de igual manera a la viga de atado. Los 6 tirantes soldados a las pilas-pilote serán de tipo M85 ASDO-CTT520-S y los otros 4 tirantes restantes serán de tipo M80 ASDO-CTT520-S. Se pueden ver estos detalles en el Anejo C del presente documento, apartado C.2.Planos.

Para evitarnos posibles movimientos laterales a causa de la inclinación de los tirantes conectados a las pilas-pilote, se arriostrará el camino romano horizontalmente a dichas pilas. Este arriostramiento constará de dos actuaciones: en la pila-pilote que queda dentro del camino romano, se rellenará diametralmente hormigón en masa de manera que quede enrasado con el camino, y en la pila-pilote que queda fuera del ámbito del camino, al ser prácticamente tangencial a la viga de atado, se soldará un perfil metálico tipo HB200 para que al hormigonar la viga, este perfil quede embebido dentro de ella y así evite los posibles desplazamientos horizontales. Este perfil se soldará durante el montaje de la armadura de la viga de atado.

Mientras se está ejecutando el montaje de la armadura de la viga de atado, se puede proceder también a ejecutar las soldaduras de las conexiones de los tirantes que van a descargar a las pilas-pilote. Estas conexiones metálicas, en orden descendente ascendente (tirante-pila-pilote) constan de: un manguito cubre roscas, un terminal horquilla en forma de U roscado al tirante (ver figura 28), y una orejeta que pasaría a través del terminal horquilla en forma de U y que se conecta a la pila-pilote mediante una soldadura total. Esta conexión se finaliza con un bulón pasante transversal al terminal horquilla y a la orejeta que fija la conexión pero permite un pequeño movimiento y ángulo (ver figura 28). Por lo tanto, la soldadura a realizar será la de la orejeta al encofrado metálico de la pila-pilote. Se pueden ver estos detalles en el Anejo C del presente documento, apartado C.2.Planos.

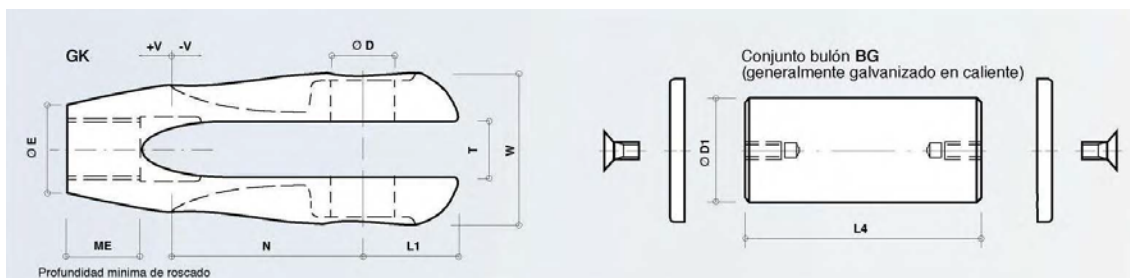


Figura 28 Terminal horquilla en forma de U y bulón pasante

A unos tres metros aproximadamente por encima del camino romano se encuentra la losa postesada de la cubierta ya comentada, de 1,2 metros de espesor y que contiene dos zonas bien diferenciadas: las zonas de ejes longitudinales postesados y las zonas que quedan entre éstos ejes, aligeradas que contienen unos tendones (nervios) separados por una distancia entre sus ejes de 1,3 metros complementados con porexpan y un armado de acero superior e inferior. El segundo grupo de 4 tirantes colocados dos a dos que atravesarán la losa de la cubierta, la atravesarán por esta última zona aligerada. De esta forma, es necesario realizar unas aberturas en la zona aligerada mediante taladros de 10 centímetros de diámetro también dos a dos para que puedan pasar esos tirantes.

Después de realizar estos agujeros de diámetro 10 cm, se procederá a realizar dos tipos de vigas transversales a las que llegarán los tirantes pasados por las aberturas y quedarán embebidos dentro de las vigas de la misma manera como se hizo en la viga de atado perimetral del camino romano. Estas vigas transversales se caracterizan exclusivamente por recibir las cargas de los tirantes provenientes del camino romano y distribuirlas a otras vigas perpendiculares situadas en sus extremos y sobre los ejes postesados de la losa, con el único objetivo de repartir la carga hacia las pilas-pilotes (configuración rectangular). Como estas vigas transversales no pueden apoyarse sobre la losa ya que la zona no podría absorber estas cargas extras, se coloca por debajo de estas vigas una cama de placas de porexpan de 10 cm de altura de manera que así se absorben los desplazamientos de estas vigas y nos aseguramos que las cargas no llegan a esa zona de la losa.

Las vigas transversales se pueden ejecutar a la vez que la viga de atado perimetral del camino romano ya que los tirantes se colocan y conectan a las conexiones que quedarían embebidas dentro de la armadura de las vigas transversales antes del hormigonado.

Por lo tanto, una vez realizadas las aberturas, colocado los encofrados laterales y las placas de porexpan inferiores, se procede a montar las respectivas armaduras y las conexiones de los tirantes ya unidas a los tirantes. Las dimensiones de estas vigas son: la de tipo 1 de 2x1 metros y la de tipo 2 de 2,2x1 metros pero se realizarán de dos tipos de hormigón diferentes. Para la de tipo 1 se usará un hormigón HA-30b/20/2a y para la de tipo 2 un hormigón HA-40b/20/2a que tiene mayor resistencia.

Además y a la vez, se procede a encofrar y a montar las otras vigas perpendiculares de 1x1,10 metros situadas en los extremos de las vigas transversales y sobre los ejes postesados de la

losa y del mismo tipo de hormigón que la viga transversal de tipo 1 HA-30b/20/2a . Estas vigas de reparto se encargarán de repartir/transmitir la carga hacia las pilas-pilotes. Como estas vigas de reparto sí tienen que transmitir la carga hacia la losa para que la absorban las pilas-pilote, es necesario realizar un método de conexión entre las vigas y la losa. A raíz de los esfuerzos que se pueden generar en esa zona de conexión, no podemos usar ningún material específico. Por ello, se recomienda la realización un raspado (fresado) en la superficie superior de la losa para aumentar la rugosidad y por tanto, la transmisión por el rozamiento entre los dos elementos, y así conseguir un sistema más resistente.

Por lo tanto, una vez fresado, encofradas las dos vigas transversales, colocado el porexpan; y encofradas las dos vigas de reparto, se procede a montar las armaduras de acero con la ejecución de las conexiones respectivas de los tirantes en las vigas transversales. Una vez acabada la colocación de las armaduras, se procederá a hormigonar primero la viga transversal de tipo 2 ya que es de un hormigón de mayor resistencia comparado con el resto (HA-40b/20/2a). Por esto, en los dos extremos de esta viga transversal se colocará una malla de acero tipo “Nervometal” para que al hormigonar el resto de vigas con un HA-30b/20/2a se pueda efectuar bien la unión entre los dos tipos de hormigones.

Una vez fraguado el hormigón, aproximadamente a partir de los 15 días, se podría empezar a realizar la excavación bajo el camino romano para que los tirantes entren en carga progresivamente y así evitar ciertos riesgos. Esta excavación se realizaría por dos zonas de ataque, una desde la parte superior y la otra desde la inferior (calle Manso hacia calle Tamarit), y desde las zonas más exteriores hasta encontrarse en la zona central del camino romano. Esta excavación se realizaría mediante la abertura de galerías perpendiculares a la dirección de los tubos huecos hincados y se prevé que sea una excavación pequeña, es decir, con Bobcats y con ayudas manuales.

Con esta última tarea, específica de esta alternativa propuesta, se acaban los trabajos referentes al camino romano.

6.2 Plazo de Ejecución

La determinación del tiempo necesario para realizar cada una de las tareas nombradas deberá tener en cuenta el rendimiento de los equipos y el volumen de obra a construir. Con este último se ha calculado la duración en días (suponiendo que se trabajen 8 horas diarias).

A continuación se resume la duración de las principales tareas de la alternativa propuesta:

- Trabajos Arqueológicos: 1 día
- Zona a desmontar y a atirantar: 68 días
- Hinca de tubos: 52 días
- Montaje y ejecución de Viga de atado: 9 días
- Trabajos previos Tirantes: 2 días
- Montaje de Tirantes: 7 días
- Montaje y ejecución de vigas transversales y vigas de reparto: 9 días
- Excavación y retirada de tierras para entrada en tensión gradual de tirantes:

Si bien el plazo de ejecución total es de 7 meses, no todas las tareas enunciadas anteriormente son correlativas y por tanto los períodos de días no deben sumarse linealmente porque algunas son simultáneas. Este proceso de ejecución se puede observar en el Anejo C, apartado C.4. Planificación sólo entre las tareas 27 y 69, ya que la planificación anexada es la total de la obra.

5.3 Coste

El presupuesto de ejecución material de la alternativa propuesta, asciende a un total de DOS MILLONES CIENTO CINCUENTA MIL TRESCIENTOS TREINTA Y TRES EUROS CON DIECISÉIS CÉNTIMOS (2.150.333,16€).

El presupuesto de ejecución por contrata asciende a la cantidad de TRES MILLONES NOVENTA Y SEIS MIL DOSCIENTOS SESENTA Y CUATRO EUROS CON SETENTA Y DOS CÉNTIMOS (3.096.264,72€).

Los precios de la alternativa propuesta se han introducido en el TCQ con la misma baja que los precios usados por la constructora en el TCQ de la solución construida. Los costes de la alternativa propuesta se pueden observar al completo en el Anejo C, C.3 Presupuesto mientras que los costes de la solución construida se pueden observar al completo en el Anejo B, B.3 Presupuesto.

7 CONCLUSIONES

En este trabajo de final de grado se ha propuesto una solución alternativa a la construida para la conservación e integración del camino romano en el Mercat de Sant Antoni, en el barrio de Sant Antoni de la ciudad de Barcelona.

Una vez descritas las soluciones propuestas originalmente durante la obra, y después de analizar finalmente la solución ejecutada, se ha llegado a realizar y evaluar un estudio de una alternativa constructiva propia adicional, considerando aspectos topográficos, geológicos y geotécnicos de la zona. Para ello, se ha elaborado un predimensionamiento fruto de unos cálculos aproximados iniciales, y la redacción y cálculo posterior de demás aspectos importantes como el presupuesto, el plan de obra y los planos necesarios, para la total comprensión de la alternativa que se propone y su procedimiento constructivo.

El objetivo fundamental de este estudio es poder realizar una comparación entre la alternativa propuesta, respecto de la solución ejecutada (opción de apeo). A partir de este comparativo se pretende ver si esta nueva alternativa podría haber puesto en cuestión la realización de la ejecutada analizando y comparando factores como calidad estructural, método constructivo, tiempos de construcción y costes.

Realizando un análisis de cada uno de estos factores tenemos:

- Calidad Estructural:

Tanto la solución construida como la alternativa propuesta, estructuralmente hablando, son muy complejas. No sólo desde el punto de los cálculos, sino también desde su ejecución en obra. No habría que perder de vista que por el hecho de existir tanta complejidad, la alternativa propuesta comparte una primera parte común, así como por la seguridad y conservación del camino romano, que es prioritario.

La gran diferencia estructural de estas dos soluciones es lo que más le da significado a cada una de ellas. La solución construida estaría más por el lado de la seguridad, ya que objetivamente apoyar una estructura sería mucho más seguro que colgarla. Sin embargo la alternativa estudiada apuesta por una solución arquitectónicamente más visual e imponente, aunque asumiendo más riesgo. Para ello se ha utilizado un sistema de tirantes prefabricados de acero al carbono que tiene un gran acabado fabricado por

uno de los principales expertos del mundo en la materia (VSL CONSTRUCTION SYSTEM, S.A), que consigue darle una cierta personalidad y espectacularidad a la solución propuesta, a la vez que cumple con todos los requisitos técnicos.

Además del aspecto visual, el hecho de colgar el camino romano permitiría ahorrar todo el forjado que quedaría por debajo del camino, es decir, aproximadamente unos 400m². Este espacio creado nos serviría para ordenar y facilitar el paso de los servicios e instalaciones que en la solución construida supuso ciertos y serios problemas.

Asimismo, en la superficie de la losa superior de la cubierta, esta alternativa propuesta genera una reducción de cargas previstas en proyecto al conseguir un aligeramiento bajo el acabado de pavimento final, acabando en la misma cota y sin modificación con respecto a lo previsto.

- Método Constructivo:

Éste punto de comparación es uno de los más importantes a beneficio de la alternativa propuesta. En la solución construida, la mayoría de trabajos para configurar la estructura de apeo del camino romano fueron desarrollados bajo su rasante, es decir, “a ciegas” mediante sistemas de radares y geoposicionamiento ya que toda la zona estaba llena de tierras aún por excavar.

A diferencia de la propuesta ejecutada, el método constructivo de la alternativa propone realizar todos los trabajos por encima de la rasante de la primera estructura común con la solución construida. Esto se traduce en una mejor calidad de la ejecución de los elementos principales de la estructura así como también un beneficio en la seguridad y salud de los operarios.

- Tiempos de construcción:

Uno de los motivos por los cuales surge la idea de la alternativa atirantada, es la dificultad que significaron, en su ejecución, las torretas de micropilotes para excavar las plantas de los diferentes sótanos por debajo del camino romano. El hecho de excavar con ellas por medio, significó una importante reducción del rendimiento en el proceso de vaciado de los sótanos.

Se ha llevado a cabo un análisis de la planificación real (proyecto ejecutado) versus la alternativa de atirantar y colgar el camino, y la conclusión es positiva por la reducción del plazo global de la obra en la alternativa propuesta. Por un lado nos evitamos la construcción de las torretas de micropilotes, y por otro su posterior desmontaje. Además como ya hemos avanzado, la excavación de las cuatro plantas de sótano, una vez el camino romano queda sustentado por los tirantes se facilita con el consecuente aumento del rendimiento. Lo único a tener en cuenta especialmente es la ejecución de la primera parte de excavación por debajo del camino, para que los tirantes entren en carga progresivamente; tiempo que se compensa con lo comentado anteriormente.

Otra de las ventajas es que al quedar el camino colgado de la losa superior, no es necesario incrementar el canto del forjado -1 por debajo del ámbito del camino, hecho que influye en el tiempo de su proceso constructivo y obviamente en su coste.

Considerando lo que se ha acabado de explicar, y aplicando los rendimientos que hemos estimado para las nuevas tareas: excavación sin la existencia de torretas de micropilotes, el hecho de no tener que construirlas y posteriormente desmontarlas, la no necesidad de desapeo del camino romano y sin el posterior apoyo al forjado de la planta -1, se concluye que la reducción en el plazo de las obras sería de 1 mes (ver en el Anejo C, C.4 Planificación).

- Costes:

Del análisis temporal de la alternativa propuesta de atirantar el camino romano, donde se verifica una reducción de los tiempos de ejecución y de la ejecución del resto de la obra, se deriva directamente una reducción de los costes del global de la obra.

En primer lugar destacamos como ya se ha comentado anteriormente, que la idea presentada evita la construcción del apeo, a partir de torretas de micropilotes y su posterior desmontaje, contra el hecho de construir las vigas de hormigón armado en la superficie y colocar los tirantes necesarios.

En segundo lugar y no por ello menos importante como se puede ver en la planificación, es la reducción de los tiempos de excavación de los niveles inferiores y el ahorro que esto conlleva. El no tener que trabajar con el castillete de pilotes por medio facilita y mejora los rendimientos.

Por último tenemos el ahorro en el recrecido y dimensiones de la losa bajo el camino romano. El método construido hace que al descansar el camino sobre la losa de la planta -1 sea necesario realizar por debajo del camino un recrecido de 15 cm para soportar la sobrecarga que le transmite el peso del camino más las estructuras auxiliares creadas para su mantenimiento. La alternativa propuesta no sólo da la opción de rebajarlo a las dimensiones originales de proyecto, sino que nos da la opción de ahorro de todo el forjado que quedaría por debajo del camino, aproximadamente unos 400m².

Todo lo anterior se resume en un ahorro total de casi **QUINIENTOS MIL EUROS (500.000€)** que supone un **16%** menos que la solución construida. La alternativa propuesta supondría un coste total según el PEC sin IVA de **DOS MILLONES QUINIENTOS CINCUENTA Y OCHO MIL OCHOCIENTOS NOVENTA Y SEIS EUROS CON CUARENTA Y SEIS CÉNTIMOS (2.558.896,46€)**, mientras que la solución construida costó según el PEC sin IVA **TRES MILLONES CUARENTA Y TRES MIL OCHOCIENTOS CUARENTA Y SEIS EUROS CON OCHENTA Y UN CÉNTIMOS (3.043.846,81€)** (ver tabla 1 inferior).

	SOLUCIÓN EJECUTADA	ALTERNATIVA PROPUESTA
TREBAJOS PREVIOS	29 504.73 €	29 504.73 €
EJECUCIÓN MICROPILOTES	514 284.94 €	0.00 €
HINCA DE TUBOS	1 126 792.92 €	1 126 792.92 €
ESTRUCTURA PERIMETRAL	0.00 €	37 515.89 €
FORJADO PS-1	86 541.60 €	33 792.40 €
TIRANTES	0.00 €	5 147.26 €
VIGAS LOSA PB	0.00 €	206 474.56 €
DEMOLICIONES	13 816.31 €	9 191.84 €
AFECTACIONES EJECUCIÓN RESTO OBRA	85 000.00 €	0.00 €
ARQUEOLOGÍA	701 913.56 €	701 913.56 €
PEM	2 557 854.06 €	2 150 333.16 €
PEC sin IVA	3 043 846.33 €	2 558 896.46 €

Tabla 1 Resumen comparativo de los presupuestos

Para poder realizar una comparativa más directa y visual, en el siguiente Cuadro Comparativo se resumen las grandes diferencias de los aspectos comparados, asignando una puntuación del 1 al 10 a cada una de ellas para extraer un resultado final; con un 1 para el más desfavorable y

10 para el más favorable. Cabe destacar que esta asignación de puntos es personal, y posterior a la realización de este estudio, con el consiguiente tiempo invertido y la profundidad de conocimientos adquiridos durante el proceso de análisis.

<u>ASPECTOS A COMPARAR</u>	<u>SOLUCIÓN CONSTRUIDA</u>	<u>ALTERNATIVA PROPUESTA</u>
Calidad estructural	8	8
Método constructivo	5	10
Tiempos de construcción	5	7
Costes	5	8
TOTAL	23/40=5,75	33/40=8,25

En otros términos similares:

<u>ASPECTOS A COMPARAR</u>	<u>SOLUCIÓN CONSTRUIDA</u>	<u>ALTERNATIVA PROPUESTA</u>
Calidad estructural	- riesgo	+ imponente
Método constructivo	+ complejo	+ simple
Tiempos de construcción	+ tiempo	- tiempo
Costes	+ caro	+ barato

Después de obtener las puntuaciones y así resaltar cuantitativamente que la alternativa propuesta hubiese podido ser una clara opción a la solución construida, habría que mencionar y tener en cuenta también otros factores. Uno de ellos es que realizar ahora el estudio y análisis de una alternativa más a las que se hicieron en su momento sin ningún factor de presión, es mucho más fácil. Cuando la Dirección de Obra junto con los Project Managers ACTIO, la U.T.E. NOU MERCAT DE SANT ANTONI SACYR, COPCISA, SCRINSER como constructora y la ingeniería ESTEYCO, S.A.P. evaluaron en las posibles soluciones alternativas, estaban sometidos a ciertas presiones que a día de hoy no las tenemos, como lo es una obra en ejecución con un ritmo propio, un plazo de entrega del proyecto y en consecuencia unas penalizaciones por parte de la propiedad en caso de posibles atrasos con los plazos.

Por todo lo analizado y expuesto, se puede concluir que de haber tenido más tiempo para el análisis y con menos “presión ambiental”, la alternativa propuesta a lo largo de este estudio podría haber sido una opción viable a considerar y desarrollar seriamente junto con la realmente ejecutada, dados todos los beneficios comentados.

En nuestro caso, los factores condicionantes estaban mucho más a favor en diferentes términos: más tiempo para idear e innovar, sin penalizaciones por el hecho de invertir más tiempo en el estudio y análisis, mucha más información a nuestro alcance, no sólo en topografía o geología, sino en comportamiento estructural y en viabilidad constructiva, y sin la obra en ejecución.

Pero también conviene dejar claro que para que este estudio pudiera transformarse en una solución 100% real y ejecutable, habría que completarlo con la redacción del resto de documentos que constituyen un proyecto de un complementario de este estilo, como un Plan de Control de Calidad, un Estudio de Seguridad y Salud, una Auscultación y fundamentalmente profundizar en los cálculos. De esta manera se podrá tener un dimensionamiento más ajustado mediante programas informáticos de modelaje más complejos. Sobre todo sería necesario analizar más a fondo cómo se comportan las vigas de reparto apoyadas en su totalidad sobre la losa superior de la cubierta en las zonas de ejes postesados ya que se transfiere una sobrecarga extra no dimensionada anteriormente. En nuestro caso, se ha planteado la idea general del comportamiento de la zona y de cómo se repartirían las cargas, pero para el proyecto no sería suficiente.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARROYO PORTERO, Juan Carlos (2009). *Números Gordos en el proyecto de estructuras: Edición corregida y ampliada*. España: Cinter Divulgación Técnica, S.L.
- Cantera Orive, J. *Buscando a Atiliana*. Obtenido el 30 de agosto de 2016 de: <http://www.vallenajerilla.com/berceo/canteraorive/atiliana.htm>
- ESTEYCO, S.A.P (2016). *Documentación del proyecto*. España
- E-Street Developers and Bending Moment Diagram.com. *Calculadora de Momentos flectores y de cortantes*. Obtenido el 15 de septiembre de 2016 de: <http://bendingmomentdiagram.com/free-calculator/>
- Mercats de Barcelona (2008). *El MERCAT DE SANT ANTONI INICIA LA SEVA REMODELACIÓ*. España, Barcelona. Ajuntament de Barcelona
- Muñoz Sanz, D (2013). *Mercat de Sant Antoni. Pantallas termoactivas*. España, Barcelona. SACYR, S.A.
- Norma EHE-8 (2011.). *Instrucción de Hormigón Estructural*. España. Ministerio de Fomento, Gobierno de España.
- Norma EAE (2011). *Instrucción de Acero Estructural*. España. Ministerio de Fomento, Gobierno de España.
- Roberto Cordes, S.A. *Calculadora de Peso*. Obtenido el 14 de septiembre de 2016 de: http://www.cordes.com.ar/index.php?modulo=tablas_archivos&accion=sitio_calculador_pesos

- Redacción y Agencias. (2013, 26 de noviembre). *El reformado Mercat de Sant Antoni de Barcelona abrirá en 2016*. La Vanguardia Online. Obtenido el 22 de Marzo de 2016 de:
<http://www.lavanguardia.com/local/barcelona/20131126/54394527889/mercat-sant-antoni-abrira-2016.html>
- Sacyr, S.A. (2016). *Documentación del proyecto*. España. U.T.E. NOU MERCAT DE SANT ANTONI SACYR, COPCISA, SCRINSER y ESTEYCO.

9 AGRADECIMIENTOS

El autor del presente estudio quisiera, a través de estas palabras, dar gracias a la ayuda, paciencia y soporte de todas las siguientes personas. Sin duda alguna, hubiese sido imposible realizar este trabajo sin sus apoyos y consejos recibidos, gracias a las grandes cualificaciones humanas y técnicas de todos ellos.

- Sergio H. Píalarissi Cavalaro (Tutor y Profesor del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos, UPC)
- U.T.E. NOU MERCAT DE SANT ANTONI SACYR, COPCISA, SCRINSER (Miguel Ángel Perez Peñalva, Gerente de la UTE)
- SACYR, S.A. (Òscar Torres, Jefe de la Oficina Técnica de la obra del Mercat de Sant Antoni)
- ESTEYCO, S.A.P. (Luis Castro y Pau Codolà, Departamento de Estructuras y Obra Civil)
- BOGOM ARQUITECTURA, S.L (Pedro Martín La Parra, Arquitecto)
- VSL CONSTRUCTION SYSTEM, S.A (CTT Stronghold, S.A.) (Pedro Ossó, Director División VSL & Edificación)
- David Aguilar (Ingeniero Técnico de Obras Públicas)
- MCK PROJECT CONSULTANTS, S.L.

A todos ellos, muchas gracias.

